

# Eletromagnetismo

## Magnetismo

Organizadores

Michelli da S Arruda Sorte  
César Vanderlei Deimling  
Natália Neves M Deimling

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dx \times r}{r^3}$$

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>TÓPICO 1</b>	
<b>1. MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO.....</b>	<b>7</b>
1.1 Objetivos específicos do tópico.....	7
1.2 Pré-Requisitos para se ensinar esse tópico aos alunos.....	7
1.3 Diagnóstico de conhecimentos prévios.....	8
1.4 Um pouco de história.....	9
1.4.1 História do Magnetismo.....	10
1.5 Atividade Experimental 1: Experimento 1.....	18
1.6 Magnetismo Terrestre.....	20
<b>TÓPICO 2</b>	
<b>2. CAMPO MAGNÉTICO.....</b>	<b>23</b>
2.1 Objetivos específicos do tópico.....	23
2.2 Contando um pouco de História.....	23
2.2.1 História do Eletromagnetismo.....	23
2.3 Atividade Experimental 2: Experimento 2.....	25
2.4 Continuando a história.....	26
2.4.1 Lei Biot- Savart.....	26
2.4.2 Principais características do campo magnético.....	29
2.5 Atividade Experimental 3: Experimento 3.....	30
<b>TÓPICO 3</b>	
<b>3. CAMPO MAGNÉTICO DE CONDUTORES COM DIFERENTES FORMATOS.....</b>	<b>35</b>
3.1 Objetivos específicos do tópico.....	35
3.2 Mais um pouco de História.....	35
3.4 Campo magnético para diferentes geometrias.....	38
3.4.1 Campo magnético gerado por um fio retilíneo.....	38
3.4.2 Campo magnético no centro de uma espira.....	44
3.4.3 Campo magnético gerado no centro de um solenoide.....	49

3.5 Resumo.....	52
3.6 Atividade Experimental 4: Experimento 4.....	53
3.7 Atividade Experimental 5: Experimento 5.....	54
3.8 Curiosidade.....	57
3.9 Magneto.....	58
3.10 Finalizando.....	60
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## APRESENTAÇÃO

Há muitas décadas, a discussão sobre a importância da relação entre teoria e prática e entre conhecimento científico e cotidiano na formação escolar tem permeado diversos estudos e pesquisas de diferentes áreas do conhecimento e, em especial, da área de ensino. Todavia, a despeito dos diferentes estudos e análises já realizadas, observamos que, em muitas situações, os conteúdos estudados em âmbito escolar são trabalhados de forma desconexa da prática social, o que, frequentemente, faz com que os estudantes apresentem algumas dificuldades em relacionar os conteúdos curriculares à realidade cotidiana. Com o intuito de contribuir para a superação dessa dicotomia, elaboramos o presente material.

Este produto educacional foi desenvolvido a partir de uma pesquisa de mestrado vinculada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, polo de Campo Mourão, sob a supervisão da Sociedade Brasileira de Física. O objetivo desta pesquisa consistiu-se em elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica para o ensino do conteúdo de campo magnético no Ensino Médio.

Este produto educacional é composto por um Plano de Unidade - O plano de unidade, trata-se de uma previsão peculiar e indutiva do trabalho a ser desenvolvido durante um determinado tempo, e uma Unidade de Conteúdo – em nosso caso trata-se de um material paradidático que poderá ser utilizado por professor, aluno do Ensino Médio e/ou ambos, os quais abordam o conteúdo campo magnético em situações pouco trabalhadas no Ensino Médio

, numa perspectiva teórico-prática, incluindo cinco propostas de atividades experimentais, bem como um software para o cálculo de campo magnético.

Com esse produto educacional, buscamos apresentar uma alternativa diferenciada para o desenvolvimento do conteúdo campo magnético em sala de aula, tendo em vista a sistematização, problematização e contextualização desse conteúdo em seus aspectos teóricos e práticos e sua relação com a prática social mais ampla e as diferentes dimensões que esse conteúdo comporta.

O Plano de Unidade e a Unidade de Conteúdo estão divididos em três tópicos (1, 2 e 3), nos quais buscamos abordar o conteúdo campo magnético em

suas diferentes dimensões: científica, conceitual, histórica, social e econômica, tendo como base teórico-metodológica os princípios e fundamentos da Pedagogia Histórico- Crítica.

No Tópico 1, buscamos apresentar o conteúdo a partir de atividades teórico-experimentais que possam identificar e discutir os conhecimentos prévios trazidos pelos estudantes sobre o tema, discutindo também a interação dos ímãs com outros materiais. Para que os alunos possam compreender melhor as interações existentes entre os ímãs, partimos de conceitos relacionados à natureza atômica da matéria, aos domínios magnéticos e as definições de materiais ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

Neste tópico buscamos também abordar um pouco da história do magnetismo e discutir a relação entre eletricidade e magnetismo. No decorrer das duas aulas planejadas para esse tópico, o professor pode desenvolver ações como: exposição oral dialogada, debates sobre textos, reportagens, tiras, charges e atividades experimentais. Para tanto, será necessário dispor de alguns recursos, tais como: laboratório, ímã, bússola, baterias, TV multimídia ou Datashow. Durante o desenvolvimento desse tópico, discutimos o conteúdo em suas dimensões teórico-experimentais, articulando o conteúdo com a prática social, de modo a oferecer condições de aprendizagem para o aluno compreender e adquirir a noção científica, histórica, social e econômica.

No tópico 2, também abordamos o conteúdo campo magnético a partir de atividades sobre como o campo magnético produzido por um ímã se distribui no espaço. No desenvolvimento desse tópico, trabalhamos o conteúdo em suas dimensões científica, histórica, social e econômica, no intuito de proporcionar ao aluno a apropriação do conhecimento científico. Para isso, propomos o debate sobre o início do filme “O núcleo: Missão ao Centro da Terra” (2003) e atividades teórico-práticas para explicar as linhas de campo. Para o desenvolvimento desse tópico serão necessários recursos como laboratório, limalhas de ferro, ímã, TV multimídia ou Datashow.

No tópico 3, buscamos discutir o conteúdo campo magnético em suas dimensões científica, histórica, social e econômica, no intuito de permitir aos estudantes a constante relação entre teoria e prática.

No início desse tópico, é lembrado o que foi discutido nos encontros anteriores. Na sequência, são propostas atividades teórico-experimentais de modo a permitir aos estudantes a análise da relação entre o campo magnético e as

correntes elétricas. Utilizando uma montagem experimental, são posteriormente discutidas diferentes configurações das linhas de campo magnético obtidas a partir de condutores percorridos por corrente elétrica com diferentes formatos. Visando aproximar os estudantes do contexto tecnológico, é proposto também um experimento em grupos de 4 ou 5 alunos cada, a partir do qual os estudantes serão capazes de determinar o perfil do campo magnético no eixo de uma bobina compacta de aproximadamente 300 espiras, tendo como base os conteúdos discutidos antes e ao longo da atividade e a utilização de aplicativos de celular e programas de computador (Simulador).

Ao longo de cada tópico apresentamos listas de exercícios aos alunos, de modo que eles possam, pela mediação docente, aprofundar os conteúdos trabalhados em sala de aula.

Esperamos que este material possa contribuir para o processo de ensino-aprendizagem do conteúdo de campo magnético no Ensino Médio.

# TÓPICO 1

## 1. MAGNETISMO E ELETROMAGNETISMO



**Duração desse tópico:** Sugere-se que sejam utilizadas 4 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

### 1.1 Objetivos específicos do tópico:

- \* Explicar a interação dos ímãs com outros materiais, enfatizando sua estrutura atômica e a organização interna dos momentos magnéticos;
- \* Discutir o conceito de domínio magnético e as definições de materiais ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos;
- \* Discutir brevemente a história do magnetismo;
- \* Discutir sobre a relação entre eletricidade e magnetismo.

### 1.2 Pré-Requisitos para se ensinar esse tópico aos alunos:

- Noções básicas sobre as forças de ação e reação que ímãs imprimem entre si e entre metais;
- Compreender a natureza da matéria, o conceito de átomo e suas partes;
- Compreender o conceito de carga elétrica e corrente elétrica.

### 1.3 Diagnóstico de conhecimentos prévios

Inicialmente, sugere-se a aplicação de um questionário inicial para o diagnóstico dos conhecimentos prévios dos alunos, tendo em vista averiguar o que já sabem sobre o conteúdo a ser trabalhado. Esse questionário pode ser realizado por escrito (solicitar que os alunos respondam as questões) e/ou oralmente (discussão/debate com os alunos):

- O que você entende por Campo Magnético? Justifique sua resposta.
- Qual a relação você faz entre o magnetismo e o átomo.
- Quais são as fases do ímã? Justifique sua resposta.
- Qual a importância do Campo Magnético para o seu dia a dia? Cite alguns exemplos onde o Campo Magnético esteja presente:
  - Explique por que os ímãs se atraem ou se repelem:
  - Explique por que os ímãs são capazes de atrair os metais:
  - Por que a agulha de uma bússola aponta sempre para a região do polo norte geográfico?
  - Explique como é gerado o Campo Magnético nos fios elétricos.
- Você conhece a história da contribuição de Biot e Savart para a Lei de Biot-Savart?
- Você conhece as contribuições de Hans Christian Oersted para a história do eletromagnetismo?
- Qual aplicação econômica e social você atribui ao magnetismo?

## 1.4 Um pouco de história

### IMÃS

Caro professor!!!!

Sugerimos que se inicie o conteúdo com uma conversa junto aos alunos abordando o contexto histórico. Pode-se iniciar utilizando a Figura abaixo e levantando alguns questionamentos, tais como:

- **O que estas imagens estão buscando representar?**
- **Por que Magnetismo? De onde deriva esse nome?**



**Figura 1:** Pastor com seu cajado sendo atraído pela rocha magnetita.  
**Fonte:** Instalações elétricas (2013)<sup>13</sup>.

CURIOSIDADES!!!!!!!

VOCÊ SABIA???

A magnetita (ímã natural) era chamada de pedra amante pelos chineses da Antiguidade. Essa expressão deu origem a palavra aimant, ou seja, amante - em francês, de onde veio o nome ímã.



<sup>13</sup> Disponível em: <<http://instalacoeseletricasii.blogspot.com.br/2013/01/magnus.html>>.

### 1.4.1 História do Magnetismo

Para compreendermos um pouco sobre magnetismo e eletromagnetismo, é interessante voltarmos ao passado, discutindo um pouco da história do magnetismo.

De onde vem a palavra magnetismo?

De acordo com a Bassalo (1994), o magnetismo já era conhecido desde as civilizações antigas. Tales, de Mileto, na Grécia já conhecia os efeitos de atração e repulsão de uma pedra que tinha como composição o óxido de ferro. Posteriormente, essa pedra recebeu o nome de magnetita (conhecido popularmente como ímã), em homenagem a um pastor de ovelhas grego chamado Magnes que percebeu que as pedras grudavam em seu cajado de ferro.

Relatos envolvendo magnetismo citam em seu contexto inicial estudos envolvendo um mineral chamado magnetita, como a primeira substância com propriedades magnéticas conhecida pelo homem, conforme afirma Bassalo (1994):

Este ficou surpreso ao observar que a ponta de ferro de seu cajado, assim como os pregos de sua sandália, era atraídos por certas pedras que encontrava ao longo de seu pastoreio. Este, provavelmente se localizava na Tessália, uma província grega que passou a ser chamada, por razões óbvias, de Magnésia. Essas pedras, pela mesma razão, passaram a ser conhecidas como magnetita ou ímã natural, quimicamente conhecida como  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (BASSALO, 1994, p. 76).

O primeiro a escrever sobre o magnetismo no Ocidente, de acordo com Silva e Barreto Filho (2012), foi Peter Peregrinus, filósofo e engenheiro do exercido de Charles d'Anjou, que escreveu um tratado datado de 1269 no qual, além de descrever a magnetita e suas propriedades, definia a propriedade do ímã de apontar sempre para o norte geográfico, mencionando pela primeira vez o termo "polo magnético" e explicando o porquê de um ímã se transformar em dois quando partido.

Segundo fatos históricos já era sabido que as bússolas dos navios eram afetadas por objetos ferromagnéticos presentes nos navios, mas nunca se

dispunha de afirmações e experiências que comprovassem tal relação. Muitas vezes os fenômenos elétricos e magnéticos eram abordados como se não possuíssem nenhuma relação entre si.



**Figura 2:** Imagem de William Gilbert

**Fonte:** Epic School (2017) <sup>14</sup>.

William Gilbert (1544-1603) é considerado por muitos como o primeiro grande físico britânico. Ele estabeleceu-se em Londres por volta de 1570, após estudar medicina na Universidade de Cambridge, tendo sido nomeado, inclusive, médico da rainha Elizabeth I. Foi como cientista, entretanto, que ficou conhecido, conforme afirma Ribeiro (2000, p. 300):

Dos filósofos naturais que estudaram magnetismo, o mais famoso é William Gilbert de Colchester (1544- 1603), chamado de “Pai do Magnetismo”, pois sistematizou as especulações sobre o assunto. Vinte anos à frente de Sir Francis Bacon, foi um firme defensor do que nós chamamos hoje de método experimental. De Magnete foi sua obra-prima, dezessete anos do seu trabalho registrado, contendo todos os seus resultados. Nesta foi reunido todo o conhecimento sobre magnetismo digno de confiança de seu tempo, junto com suas maiores contribuições. Entre outros experimentos, foram reproduzidos aqueles executados três séculos antes por Peregrinus com a magnetita esférica que foi chamada de terrela (pequena terra), pois Gilbert a idealizou como sendo um modelo atual da Terra e assim foi o primeiro a afirmar que a Terra é um ímã, ou seja, possui um campo magnético próprio.

De acordo com Rocha (2011), Gilbert, em seu livro De Magnete, publicado em 1600, além de enfatizar a distinção entre os efeitos magnéticos do âmbar e do ímã, compila todos os fatos importantes conhecidos sobre fenômenos elétricos e magnéticos.

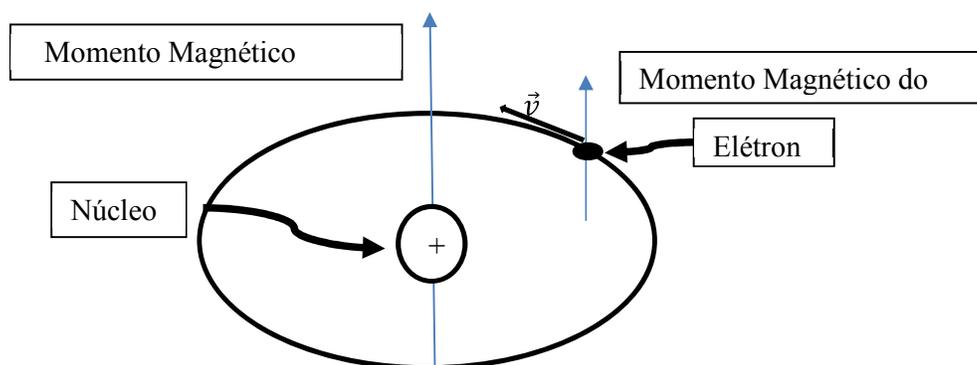
---

<sup>14</sup> Disponível em: <<http://www.epic-school.com/calendar/>>.



Nesse momento, é importante o professor trabalhar com os alunos os conceitos científicos sobre ímãs e magnetismo. O texto abaixo poderá auxiliar.

As substâncias sólidas, líquidas ou gasosas mostram alguma característica magnética, indiferente da temperatura. Sendo assim, todo material possui uma propriedade do magnetismo. Essa propriedade dos materiais tem sua origem na estrutura eletrônica dos átomos. Do ponto de vista clássico, são dois fatores associados ao elétron que podem explicar a origem dos momentos magnéticos: o momento magnético orbital do elétron (relacionado ao momento angular do elétron) e o momento magnético do spin do elétron (característica intrínseca do elétron) – Figura 3.



**Figura 3:** Momento Magnético Orbital  
**Fonte:** Autoria própria (2017).

De uma maneira geral, a matéria possui fases magnéticas, que podem

ser classificadas de acordo com a origem microscópica de sua magnetização e de suas interações internas, sendo que as principais fases são: o Diamagnetismo, o Paramagnetismo e o Ferromagnetismo.

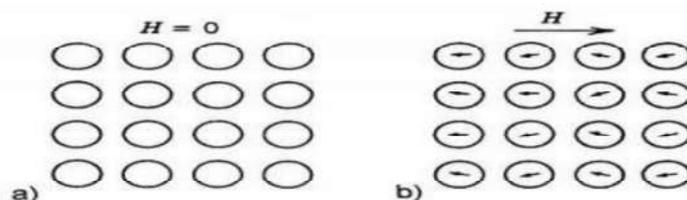
Nas substâncias diamagnéticas os momentos magnéticos se orientam de maneira contrárias ao sentido do campo magnético aplicado em suas vizinhanças. Conforme afirma Ribeiro (2000), diamagnetismo, em geral, corresponde ao tipo mais fraco de resposta magnética de um sistema, caracterizado por susceptibilidade negativa da ordem de  $10^{-5}$  A/m - onde o sinal negativo se deve ao fato de que os domínios magnéticos terem sentido oposto ao do campo magnético ao qual o objeto está exposto. O fato desse valor ser negativo indica que a magnetização (caracterizada pela soma dos momentos magnéticos dividida pelo volume da amostra) nesses materiais tem orientação oposta à do campo aplicado.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2009):

QUAIS SÃO AS  
PROPRIEDADES  
DE UM IMÃ?

o diamagnetismo existe em todos os materiais, mas é tão fraco que em geral não pode ser observado se o material possui uma das outras duas propriedades. No diamagnetismo, momentos dipolares magnéticos são produzidos nos átomos, do material apenas quando esse é submetido a um campo magnético externo. A combinação desses momentos dipolares induzidos resulta em um campo magnético de baixa intensidade no sentido contrário ao do campo externo, que desaparece quando o campo externo é removido (Halliday, Resnick e Walker, p. 356, 2009).

São exemplos de substâncias que exibem respostas diamagnéticas: o Bismuto, o Cobre, a Prata e o Chumbo. Esse fenômeno pode ser observado através da Figura 4.



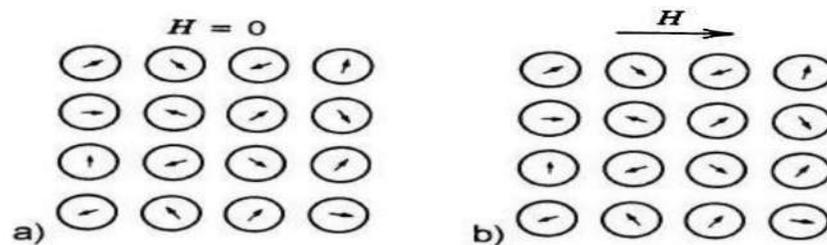
**Figura 4:** Diamagnetismo – a) material diamagnético na ausência de um campo magnético externo; b) material diamagnético na presença de um campo magnético externo aplicado

**Fonte:** Callister (2013)<sup>15</sup>.

O paramagnetismo pode ocorrer em materiais cujos momentos magnéticos não exibem orientação preferencial. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2009):

Os átomos desses elementos possuem um momento dipolar magnético diferente de zero, mas como os momentos dos átomos estão orientados aleatoriamente, o campo magnético resultante é zero. Entretanto, um campo magnético externo pode alinhar parcialmente os momentos dipolares magnéticos atômicos, fazendo com que o material apresente um campo magnético resultante, inerente aos momentos magnéticos, no mesmo sentido que o campo externo que desaparece quando o campo externo é removido (Halliday, Resnick e Walker p.356, (2009).

Podemos citar como exemplo de materiais paramagnéticos o Alumínio e a Platina, conforme na Figura abaixo, têm-se a representação de um material paramagnético.



**Figura 5:** Paramagnetismo:

a) Configuração dos momentos magnéticos de um material paramagnético na ausência de um campo magnético externo; b) Configuração dos momentos magnéticos em um material paramagnético na presença de um campo magnético externo

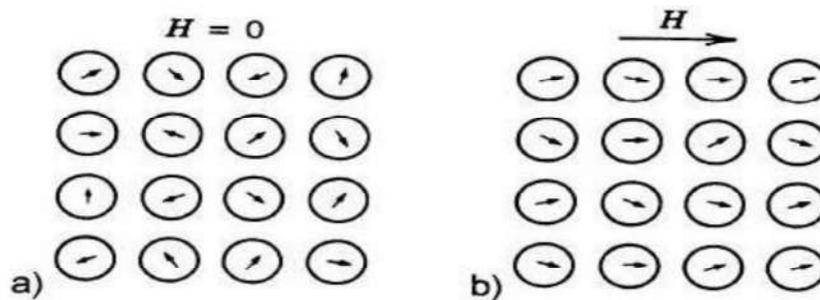
**Fonte:** Callister (2013).<sup>16</sup>

Quando nos referimos ao ferromagnetismo, devemos lembrar que apenas alguns elementos puros pertencem a essa classe. São eles o Ferro, Níquel, Cobalto e em baixas temperaturas o Disprósio e o Gadolínio, além de ligas envolvendo esses elementos. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2009), Nesses materiais, os momentos dipolares magnéticos de átomos vizinhos se alinham, produzindo regiões com alto alinhamento dos momentos magnéticos. Em materiais magnéticos, como o Ferro e o Aço, o campo magnético dos

<sup>16</sup> Disponível em:

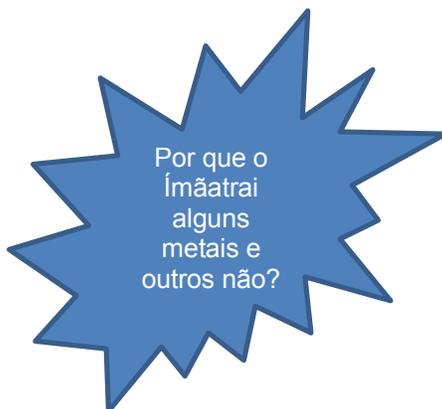
CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

elétrons, ou seja, os momentos magnéticos se alinham formando regiões que apresentam magnetismo espontâneo. Essas regiões são chamadas de domínios magnéticos. Em uma peça não-magnetizada de um material magnético os domínios estão distribuídos de forma aleatória e o campo magnético total em qualquer direção é zero. Quando esse material sofre a ação de um campo magnético externo, os domínios se orientam com o campo aplicado. Esse alinhamento cresce à medida que o campo externo aumenta, conforme mostrado na Figura abaixo:



**Figura 6:** Ferromagnetismo: a) ferromagneto na ausência de um campo magnético externo; b) ferromagneto na presença de um campo magnético externo

**Fonte:** Callister, 2013.



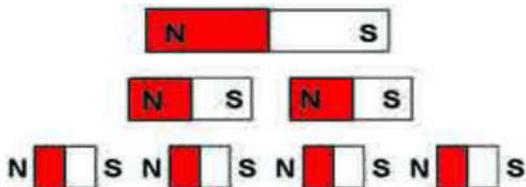
As respostas ferromagnéticas, assim como as paramagnéticas são apresentadas por amostras que possuem momentos de dipolo magnéticos resultantes permanentes, que podem se orientar dependendo da condição de campo magnético externo.

O que diferencia os materiais ferromagnéticos dos paramagnéticos é que nos primeiros existe uma forte interação entre momentos de dipolo atômicos vizinhos que os mantêm alinhados, mesmo quando o campo magnético externo é removido. O resultado desse alinhamento é a formação dos domínios magnéticos. A temperatura acima da qual um material ferromagnético passa a ser paramagnético é denominada temperatura de Curie, também chamado de ponto Curie. Trata-se de uma temperatura na qual um ímã ou material ferromagnético perdem suas propriedades magnéticas. Tal característica foi

descoberta por um pesquisador francês Pierre Currie. Nesse sentido, Ribeiro (2000) afirma que:

Alguns elementos do grupo de transição, como o ferro, níquel e cobalto puros ou em ligas com outros elementos, apresentam uma alta magnetização espontânea abaixo da temperatura de Curie (TC). Essa alta magnetização nos materiais ferromagnéticos está relacionada ao fato destes possuírem momentos de dipolo magnético intrínsecos altamente interagentes que se alinham paralelamente entre si. (RIBEIRO, 2000, p. 302).

Os ímãs possuem algumas propriedades como inseparabilidade dos polos e interação entre os polos. Quanto a inseparabilidade dos polos, ao dividir um ímã em várias partes, cada parte formará um novo ímã com dois polos, ou seja, é impossível existir um monopolo magnético, como mostra a Figura 7.



**Figura 7:** Inseparabilidade dos polos de um ímã  
**Fonte:** Educação.globo<sup>17</sup>

Em relação a interação entre os polos, quando se aproximam dois polos iguais, ocorre a força de repulsão entre eles, se os polos forem diferentes, a força será de atração.



**Figura 8:** Interação entre polos de um ímã  
**Fonte:** Halliday, Resnick e Walker (2009)<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/imas-e-magnetismo.html>>.

<sup>18</sup> Disponível em: HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física:** gravitação, ondas e termodinâmica. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. Vol. 3. 8ª ed. Editora LTC, 2009.

**CARO PROFESSOR!!!!!!**  
**SUGERE-SE QUE SE REGASTE O CONTEÚDO**  
**TRABALHADO POR MEIO DAS CHARGES ABAIXO**  
**E DO EXPERIMENTO 1 (SEGUE DESCRIÇÃO DO**  
**EXPERIMENTO). AQUI O PROFESSOR PODE**  
**INVESTIGAR E ANALISAR O QUANTO E O COMO O**  
**CONTEÚDO TRABALHADO ATÉ ENTÃO FOI**  
**AAPROPRIADO PELO ALUNO.**



ENTREGAR PARA CADA ALUNO AS CHARGES ABAIXO E PEDIR PARA QUE POR MEIO DO CONTEÚDO TRABALHADO ELES EXPLIQUEM O QUE ENTENDERAM.



**Figura 9:** Atrai ou não  
**Fonte:** Ciência, Cefet e Coltec



**Figura 10:** Brigas de ímãs  
**Fonte:** <<http://slideplayer.com.br/slide>>.

ATENÇÃO PROFESSOR!!!! É INTERESSANTE QUE OS EXPERIMENTOS DESTA UNIDADE DE CONTEÚDO SEJAM DESENVOLVIDOS EM GRUPOS DE 3 OU 4 ALUNOS, DE FORMA A PERMITIR UMA NOVA E CONSTANTE PROBLEMATIZAÇÃO DO TÓPICO.



## 1.5 Atividade Experimental 1: Dipolos de um ímã

### PARTE 1: DIPOLOS DE UM ÍMÃ MATERIAIS UTILIZADOS

**“Um ímã apresenta dois polos, que não podem ser separados. Se quebrarmos um ímã ao meio, cada metade apresentará novamente dois polos.”**

1 ímã (pode ser adquirido em alto falante queimado);  
1 alicate  
Limalhas de ferro

**Procedimento:** Inicialmente, o professor aproxima o ímã das limalhas de ferro, para provar que o mesmo trata-se de um ímã. Em seguida, com o auxílio de uma alicate, quebra o ímã ao meio e pergunte aos alunos: **O que vocês acham que vai acontecer?** Em seguida, tente juntar os ímãs, encaixando as partes quebradas uma à outra. Instigar os alunos quanto ao ocorrido – **Por que isso acontece?** – solicite aos estudantes que utilizem de conceitos científicos para explicar o ocorrido.

Quebre mais uma vez cada parte do ímã e pergunte aos alunos: **e agora, o que vocês acreditam que irá acontecer ao aproximarmos as partes do ímã quebrado?**

Reforçar aos alunos que devido a orientação dos momentos magnéticos dos ímãs, o mesmo pode ser composto apenas por alguns átomos e ainda terá propriedades magnéticas, formando um dípolo magnético.

## PARTE 2: ATRAI OU NÃO MATERIAIS UTILIZADOS

1 ímã;  
Pregos;  
Clips;  
Algum objeto feito de inox;  
1 pedaço de papel alumínio;  
1 borracha escolar e 1 lápis;  
1 régua.

**Procedimento:** Aproxime cada objeto separadamente do ímã. Observe se ele é atraído pelo ímã ou se nada acontece.

**Resposta:** Porque alguns objetos são atraídos pelo ímã? Justifique utilizando dos conceitos de Diamagnetismo, Paramagnetismo e Ferromagnetismo. Porque alguns objetos não interagem com o ímã? Justifique utilizando dos conceitos de Diamagnetismo, Paramagnetismo e Ferromagnetismo.

### VOCE SABIA???

Na Faculdade de Zootecnia de Alimentos da USP, pesquisadores estão desenvolvendo estudos com um equipamento que poderá ajudar na conservação de alimentos, que consiste em submeter amostras de carne fresca moída a um campo magnético, o que faz com que a carne leve mais tempo para escurecer. Essa cor marrom, ocorre porque o átomo de ferro presente na proteína perde elétrons em contato com o ar e quando sujeito a um campo magnético, interferem nesse processo, retardando a degradação do alimento (DIAS, 2017).

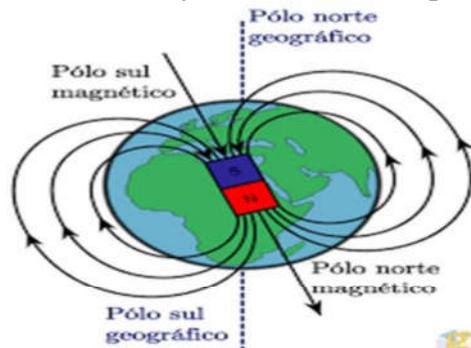
SERÁ A  
TERRA UM  
GRANDE  
ÍMÃ?????

## 1.6 Magnetismo Terrestre

VOCE SABIA????

### Campo Magnético da Terra

O planeta Terra, em termos magnéticos, se comporta como um grande ímã, de acordo com HALLIDAY (2009), em pontos próximos da superfície terrestre o campo se assemelha ao campo produzido por um gigantesco ímã em forma de barra (um dipolo magnético) que atravessa o centro do planeta. Por volta de 1600, Willian Gilbert afirmou ser a Terra um ímã gigantesco. E é por esse motivo que os polos sul e norte ganharam esse nome, porque o planeta também possui um magnetismo proveniente do movimento do seu núcleo. De acordo com Cordeiro (2011), os polos Norte e Sul geográficos são uma convenção humana, enquanto os polos magnéticos são consequências de um fenômeno natural. Os polos geográficos são os lugares onde o eixo de rotação da Terra corta a superfície do planeta. Já os polos magnéticos são os pontos do planeta em que um ímã aponta para baixo, formando um ângulo de 90 graus com o chão, conforme se pode verificar na figura abaixo.



**Figura 11:** Magnetismo da Terra  
**Fonte:** Ciencia popular

O POLO  
NORTE DE  
UMA AGULHA  
MAGNÉTICA É  
ATRAÍDO O  
REPELIDO  
PELO POLO  
NORTE  
GEOGRÁFICO  
DA TERRA?

O professor poderá utilizar ou sugerir aos alunos o vídeo que explica o comportamento do campo magnético da Terra, que poderá ser encontrado no *link*:

<<https://www.youtube.com/watch?v=9SyLGsBBdVE>>.



1) As afirmativas abaixo referem-se a fenômenos magnéticos. Assinale a(s) proposição(ões) VERDADEIRA(S).

- Um estudante quebra um ímã ao meio, obtendo dois pedaços, ambos com polo sul e polo norte.
- Um astronauta, ao descer na Lua, constata que não há campo magnético na mesma, portanto ele poderá usar uma bússola para se orientar.
- Uma barra imantada se orientará ao ser suspensa horizontalmente por um fio preso pelo seu centro de gravidade ao teto de um laboratório da UFSC.
- Uma barra não imantada não permanecerá fixa na porta de uma geladeira desmagnetizada, quando nela colocada.
- Uma das formas de desmagnetizar uma bússola é colocá-la num forno quente.

2) O que é o Diamagnetismo? Quais as principais características relacionadas ao Diamagnetismo?

3) O que é o Paramagnetismo? Quais as principais características relacionadas ao Paramagnetismo?

4) O que é o Ferromagnetismo? Quais as principais características relacionadas ao Ferromagnetismo?

5) A Terra é considerada um ímã gigantesco, que tem as seguintes características:

a) O polo norte geográfico está exatamente sobre o polo sul magnético, e o sul geográfico está na mesma posição que o norte magnético.

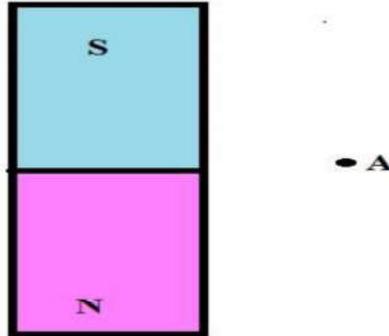
b) O polo norte geográfico está exatamente sobre o polo norte magnético, e o sul geográfico está na mesma posição que o sul magnético.

c) O polo norte magnético está próximo do polo sul geográfico, e o polo sul magnético está próximo ao polo norte geográfico.

d) O polo norte magnético está próximo do polo norte geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo sul geográfico.

e) O polo norte geográfico está defasado de um ângulo de  $45^\circ$  do polo sul magnético, e o polo Sul geográfico está defasado de  $45^\circ$  do polo norte magnético.

6) Uma bússola é colocada na proximidade do ímã da figura sobre o ponto A:



Sabendo que o vermelho corresponde ao polo norte da bússola, qual será a orientação da agulha sobre o ponto A:



7) O que são polos magnéticos? Por que a maioria dos metais não são atraídos por um ímã?

8) O que é temperatura de Curie?

## TÓPICO 2

### 2. CAMPO MAGNÉTICO



**Duração desse tópico:** Sugere-se que se utilizem 3 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

#### 2.1 Objetivos específicos:

- \* Oferecer condições de aprendizagem para o aluno compreender campo magnético;
- \* Permitir que os estudantes adquiram uma noção sobre o campo magnético produzido por um ímã e de como ele se distribui no espaço;
- \* Discutir as representações geométricas dos campos magnéticos;
- \* Discutir sobre os campos magnéticos.

#### 2.2 Contando um pouco de História



##### 2.2.1 História do Eletromagnetismo



**Figura 12:** Hans Christian Oersted

**Fonte:** Júnior (2018)<sup>19</sup>.

Por volta de 1800, muitos acreditavam na existência de relações entre eletricidade e magnetismo. Esta crença poderia ser inclusive em função de questões filosóficas como foi o caso de Oersted. Muitas vezes, os fenômenos elétricos e magnéticos eram abordados como se não possuíssem nenhuma relação. No entanto, um físico dinamarquês Hans Christian Oersted, iniciou estudos em 1807 sobre a ação da eletricidade em uma

agulha imantada, mas só em 1820, percebeu que ao aproximar uma agulha imantada de um fio no qual passa

Oersted e o eletromagnetismo?

<sup>19</sup> Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/fisica/hans-christian-oersted.htm>>.

passava uma corrente, a agulha sofria uma deflexão. Oersted observou a deflexão de um pequeno ímã colocado-o próximo a um fio percorrido por uma corrente elétrica, o que o convenceu que os campos magnéticos eram gerados a partir de todos os lados de um fio carregado. A relação entre magnetismo e eletricidade fora finalmente observada.

Isola (2003) afirma que isso ocorreu durante uma das aulas de Oersted, sobre o efeito térmico das correntes nos fios condutores, onde ele percebeu que uma agulha magnetizada sofria influência da corrente elétrica que passava por um fio colocado nas proximidades.

Após algum estudo, percebeu que ao se passar uma corrente elétrica por um fio, gerava-se campo magnético em torno do mesmo. Essa descoberta fundamental desencadeou uma série de pesquisas que levou a unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos. Os trabalhos de Oersted foram publicados pela primeira vez em 1820, às custas do próprio autor (CHAIB; ASSIS, 2007).

Sobre a origem dos efeitos magnéticos Chaib e Assis (2007) afirmam que Oersted:

Estava entre os pesquisadores que acreditava que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos fatores que os elétricos. Para tentar confirmar suas ideias, realizou experiências a fim de buscar uma relação entre uma agulha imantada e o “conflito elétrico.” Este termo, utilizado por Oersted, vinha de sua concepção da natureza da corrente elétrica. Ele imaginava que existiam duas correntes em um fio metálico ligado a uma bateria, uma positiva e outra negativa, fluindo em sentidos opostos. (CHAIB; ASSIS, 2007, p.42).

Em 1831, Michael Faraday (1791-1867) descobriu os efeitos elétricos produzidos pelo magnetismo. Segundo Hessel, Freschi e Santos (2015), Faraday observou que o movimento de um ímã nas proximidades de uma bobina condutora provocava o aparecimento de uma corrente na bobina. Através desse efeito, chamado de indução eletromagnética, ele descreveu quantitativamente a relação entre a variação do fluxo magnético e a força eletromotriz induzida, responsável pela geração de corrente elétrica.



Que tal realizarmos o experimento realizado por Oersted, em 1820?!?



### 2.3 Atividade Experimental 2: deflexão da bússola

- 1 bússola (encontrada facilmente em lojas populares);
- 1 pilha 1,5 V tipo D ou uma bateria de 9 V;
- 1,5 m de fio rígido de cobre.

#### Procedimento:

Dobre o fio de cobre em forma de um quadrado. Para facilitar o manuseio, cole o fio já dobrado em uma superfície plana com uma fita, conectando ao final a pilha ou bateria. Segure a bússola em sobre diferentes pontos do fio observando o que acontece.

O que ocorreu? Por que? Justifique utilizando os conceitos já trabalhado em sala de aula.

Atenção professor!!!!

- A bateria não terá grande duração devido ao alto consumo de energia, portanto, conecte a bateria apenas quando estiver pronto para realizar o experimento..
- O experimento deve ser desenvolvido com o aluno, buscando fazer articulação teoria e prática.



AFINAL, QUAL A RELAÇÃO DA  
CORRENTE ELÉTRICA COM O  
CAMPO MAGNÉTICO???

## 2.4 Continuando a história

### 2.4.1 Lei Biot- Savart



**Figura 13:** Biot e Savart.  
**Fonte:** Júnior (2018)<sup>20</sup>.

Qualquer carga elétrica em movimento ou fio percorrido por corrente elétrica, independentemente do formato, gera ao seu redor um campo magnética. Nesta unidade, serão estudados os campos gerados por fios retilíneos, espiras circulares e solenoides. O campo magnético devido a uma corrente elétrica que passa em um fio de forma arbitrária pode ser calculado diretamente a partir da Lei de Biot-Savart (equação 1).

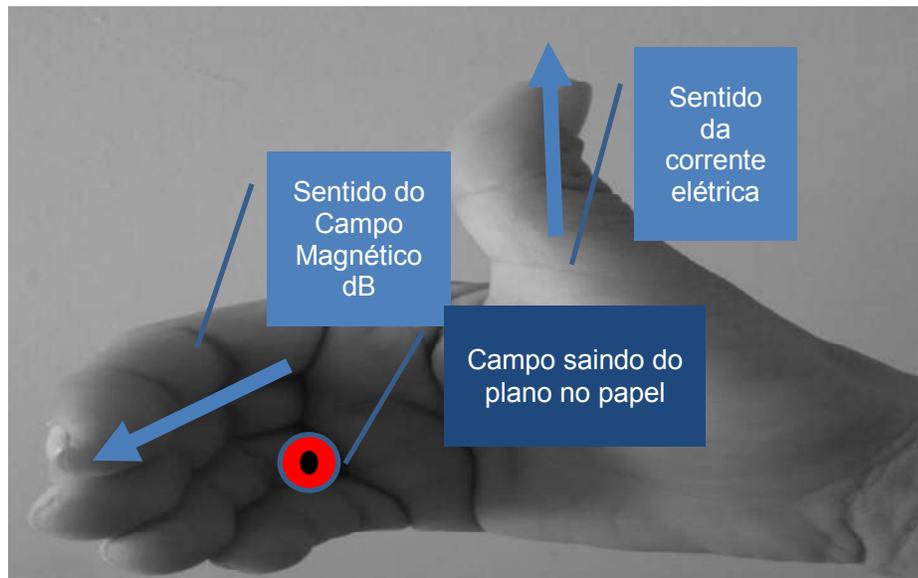
$$dB = \frac{\mu_0 i dl \cdot \text{sen}\theta}{4\pi r^2} \quad 1$$

Essa lei descreve o sentido do campo magnético e relaciona-o com o sentido da corrente elétrica, fornecendo ainda a descrição matemática do fenômeno. De acordo com alguns estudiosos, a lei foi obtida por **Jean-Baptiste Biot** (1774-1862) e **Félix Savart** (1791-1841) depois de Hans Christian Oersted publicar seus estudos sobre a deflexão da bússola devido ao campo magnético gerado por uma corrente quando passa por um fio.

Nas aplicações práticas da lei *de Biot-Savart* podemos utilizar a regra da mão direita para verificar a direção do campo. Para tanto, basta colocarmos o

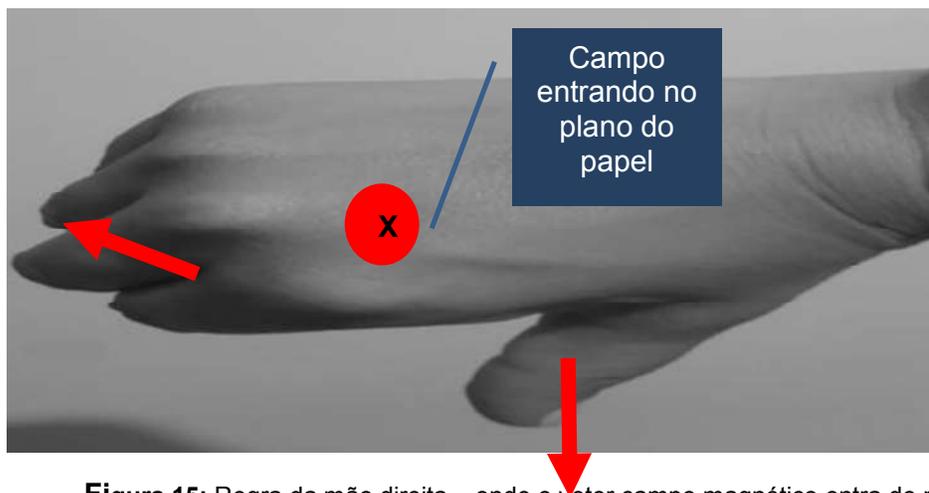
<sup>20</sup> Disponível em: <<http://brasilescola.uol.com.br/fisica/hans-christian-oersted.htm>>.

dedo polegar da mão direita na direção de  $i$ , a direção do campo  $B$  será dada pela direção dos outros dedos da mão, como ilustrado na Figura 14.



**Figura 14:** Regra da mão direita - O polegar está indicando o sentido da corrente elétrica e os demais dedos indicam sentido do campo elétrico  
**Fonte:** Autoria própria (2017).

Para se representar a orientação do campo magnético no papel, utilizam-se simbologias como  $\otimes$  e  $\odot$ , sendo  $\otimes$  o símbolo do vetor campo magnético entrando e  $\odot$  o símbolo do vetor campo magnético saindo do plano de projeção, conforme se pode identificar na Figura 15.

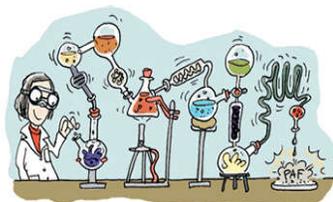


**Figura 15:** Regra da mão direita – onde o vetor campo magnético entra do papel.  
**Fonte:** Autoria própria (2017).

### Afinal, o que vem a ser vetor campo magnético?

#### 2.4.2 Principais características do campo magnético

- 1 - O vetor campo magnético  $B$  tem como unidade de medida no S.I. tesla T.
- 2-Como o vetor campo magnético é tangente às linhas de Campo, o campo é formado por linhas que não se cruzam.
- 3 - Quanto mais próximas estiverem as linhas de campo, mais intenso será o campo magnético.
- 4 - A diferença entre as linhas de campos elétricos e as de campo magnéticos é que as primeiras podem ser abertas e as segundas não. Linhas de campo magnético são necessariamente, fechadas.
- 5 - Fora do ímã, as linhas de Campo Magnético saem do polo norte magnético e entram no polo sul magnético.
- 6 - Dentro do ímã, as linhas de campo fecham-se sobre si mesmas, ou seja, tem direção em sentido do polo sul magnético e entra no polo norte magnético (CORDEIRO, 2011).



QUE TAL FAZERMOS MAIS UM EXPERIMENTO?



## 2.5 Atividade Experimental 3: linhas de campo 1

### MATERIAL UTILIZADO:

- 2 ímãs;
- Limalhas de ferro;
- Papel cartão, de preferência na cor branca;
- 1 bússola.

### Procedimento:

Sobre uma superfície plana coloque a bússola e o ímã. Aproxime a bússola das diferentes faces do ímã. Observe a posição da porção vermelha agulha da bússola. Em uma bússola, a parte vermelha da agulha aponta para o norte geográfico da Terra o que corresponde aproximadamente ao polo sul magnético da Terra. Dessa forma, ao aproximar o ímã da bússola, a parte vermelha da agulha da bússola apontará para o sul magnético do ímã.

Use o procedimento acima para identificar os polos do ímã de dois ímãs. Aproxime um ímã do outro e verifique as relações entre atração e repulsão de um ímã.

Coloque dois ímãs embaixo do papel cartão, pulverize limalha de ferro levemente sobre o papel e observe a configuração das linhas de campo. Vire um dos ímãs de lado e observe o que acontece.

Explique porque cada situação aconteceu? Justifique utilizando conceitos que foram trabalhos durante as aulas.

### Sugestão!!!!

- Você poderá levar diferentes formatos de ímãs, pulverizar limalha de ferro. Pedir aos alunos se eles percebem o que acontece.
- Para fechar a aula experimental, o professor poderá solicitar aos alunos para que em grupo ou individualmente, desenhem as linhas de campo, assim como o vetor campo magnético, do ímã do experimento realizado.
- Como curiosidade, sugere-se passar aos alunos um vídeo que demonstre a Aurora Boreal e Austral, um vídeo interessante encontra-se no *link*: <<https://www.youtube.com/watch?v=nkAdYtYJzXg>>.

### - Atenção!!!

São notáveis os avanços da medicina envolvendo técnicas e exames que utilizam do magnetismo como ferramenta. tratamentos e exames. Muito se tem a oferecer, como por exemplo, colchões magnéticos, pulseiras magnéticas, processadores magnéticos de água, enfim, inúmeros produtos que promete alívio em dores no corpo, cura de algumas doenças como de pessoas acometidas pelo AVC, alinhamento do fluxo energético, melhora na circulação sanguínea, entre outros. Nesse sentido, devemos nos atentar quanto a muitas propagandas enganosas, pois:

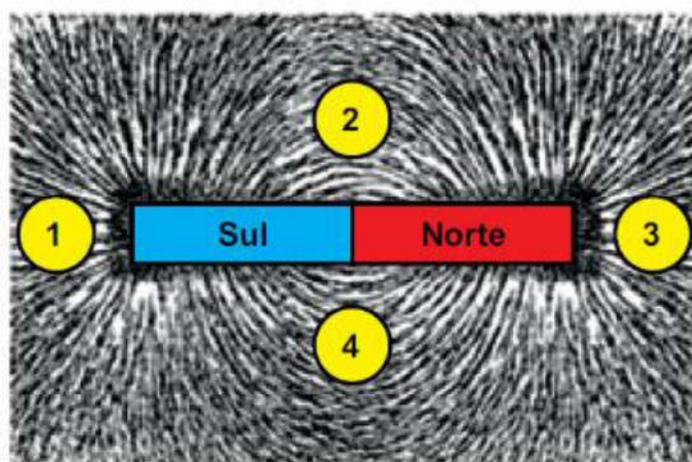
- Estudos científicos não explicam como os ímãs interagem com o organismo promovendo alívio das dores ou sobre o tratamento de outras doenças.
- Colchões e travesseiros magnéticos podem ser de melhor qualidade, mas não tem efeitos magnéticos comprovados cientificamente.
- Normalmente, a água potável não contém elementos que possam ser magnetizados, fazendo que a ideia da água potável magnetizada seja questionável.
- Mesmo que impurezas ou a própria água fosse magnetizados, esse estado de magnetização seria mantido apenas enquanto o líquido estivesse em contato com o campo magnético do dispositivo, ou seja, quando a água sair do dispositivo e entrar em contato com o nosso corpo, todo o efeito magnético desapareceria e sendo assim, passaria a se comportar como a mesma substância sem passar pelo tratamento magnético prévio.

Para finalizar, sugerimos ao professor que passe os primeiros 15 minutos do filme: "O Núcleo: Missão ao centro da Terra (2003)" (encontrado facilmente no YouTube).

Em seguida, levante um debate sobre os fatos que ocorrem no filme, buscando sempre relacionar esse com o conteúdo discutido em sala de aula.



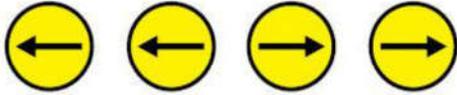
1 - Um ímã em forma de barra, com seus polos Norte e Sul, é colocado sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Se quatro pequenas bússolas, 1, 2, 3 e 4, forem colocadas em repouso nas posições indicadas na figura, no mesmo plano que contém a limalha, suas agulhas magnéticas orientam-se segundo as linhas do campo magnético criado pelo ímã.



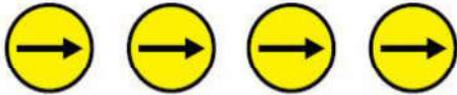
Desconsiderando o campo magnético terrestre e considerando que a agulha magnética de cada bússola seja representada por uma seta que se orienta na mesma direção e no mesmo sentido do vetor campo magnético associado ao

ponto em que ela foi colocada, assinale a alternativa que indica, correta e respectivamente, as configurações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4 na situação descrita.

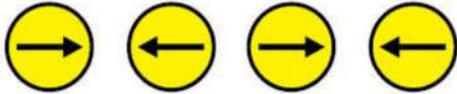
a)



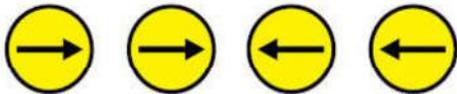
b)



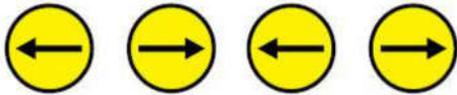
c)



d)



e)



2 - A respeito do desenvolvimento dos estudos relacionados com o magnetismo, marque V para as afirmações verdadeiras e F para as falsas.

( ) Os primeiros estudos realizados na área do magnetismo foram feitos por Aristóteles no século VI a.C. O filósofo analisou a atração entre pedras de um minério denominado de magnetita.

( ) A utilização da bússola provavelmente foi a primeira aplicação prática do magnetismo.

( ) A relação entre magnetismo e eletricidade só foi aceita no século XX com os estudos de Michael Faraday.

( ) O experimento de Oersted, realizado no século XIX, abriu caminho para os estudos relacionados ao eletromagnetismo.

a) F, V, V, V

b) V, V, V, V

c) V, F, V, F

d) F, F, F, F

e) F, V, F, V

3 (PUC-MG-Manhã)-Uma bússola pode ajudar uma pessoa a se orientar devido à existência, no planeta Terra, de:

a. um mineral chamado magnetita.

b. ondas eletromagnéticas.

c. um campo polar.

d. um campo magnético.

4 - Através do que foi discutido sobre campo magnético em sala de aula, represente as linhas de campo e o vetor o campo magnético de dois ímãs próximos para as seguintes situações: aproximação dos polos iguais e dos polos diferentes. (Não esqueçam de indicar o polo Norte e polo Sul do ímã).

## TÓPICO 3

### 3 CAMPO MAGNÉTICO DE CONDUTORES COM DIFERENTES FORMATOS



**Duração desse tópico:** Sugere-se que sejam utilizadas 5 horas/aula para trabalhar esse tópico. No entanto, caso haja necessidade, o professor poderá utilizar mais horas-aula.

#### 3.1 Objetivos específicos:

- \* Analisar e compreender a relação entre o campo magnético e as correntes elétricas que o originam;
- \* Desenvolver conhecimentos sobre a aplicação do magnetismo;
- \* Estudar da importância do campo magnético no dia a dia do aluno.

#### 3.2 Mais um pouco de História



Através dos estudos de Oersted, outras contribuições foram realizadas, dentre as quais destacam-se as desenvolvidas por André Marie Ampère (1775-1867), que segundo Isola (2003):



**Figura 16:** André Marie Ampère  
**Fonte:** Magcraft (2017) <sup>21</sup>.

Observou que correntes em fios paralelos com o mesmo sentido repeliam os fios, correntes no sentido oposto os atraíam e estabeleceu as equações matemáticas para quantificar esses fenômenos. Em seus estudos em 1822 construiu um solenoide para aprofundar ainda mais suas descobertas sobre a relação entre o magnetismo e a eletricidade para diferentes geometrias de condutores. (ISOLA, 2003, p.3)

A partir das experiências com espiras, Ampère percebeu que elas interagiam por meio de forças como se fossem ímãs. Considerava que os ímãs naturais eram compostos por uma infinidade de pequeninas espiras por onde passava correntes, mais tarde chamada de “correntes amperianas”. Foi o primeiro pesquisador a publicar sobre a indução eletromagnética, caracterizado pelo surgimento de uma diferença de potencial chamada de força eletromotriz em função da ação de um campo magnético variável perpendicularmente ao plano da espiral.



**Figura 17:** Michael Faraday  
**Fonte:** Willians (2017)<sup>22</sup>.

Michael Faraday (1791 - 1867), um famoso físico experimentalista, teve conhecimento com a Física por trabalhar em uma copiadora. Conta a história que durante as horas vagas, lia os livros de Física que estavam no seu local de trabalho, e a partir daí começou a estudar Física e fazer grandes e importantes experimentos.

Ao fazer uma experiência com dois fios enrolados em espiral em volta de um anel de ferro, notou acidentalmente que toda vez que a corrente variava num fio (circuito), havia indução de corrente elétrica no outro fio (circuito). Faraday também mostrou experimentalmente que o núcleo de ferro não era necessário

<sup>21</sup> Disponível em : <<https://www.magcraft.com/hans-christian-oersted>>.

<sup>22</sup> Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>>.

para ocorrer o fenômeno. Depois, observou apenas que com a aproximação de uma barra imantada era possível gerar corrente na bobina.

Ele observou que o fator principal do acontecimento era a variação das linhas de força. Mais tarde, utilizou a palavra campo para se referir à disposição das linhas de força no espaço.



**Figura 18:** James Clerk Maxwell  
**Fonte:** Miranda (2017)<sup>23</sup>.

A base do desenvolvimento do eletromagnetismo foi estabelecido em 1873 por James Clerk Maxwell (1831-1879), que foi um físico e matemático escocês, conhecido por ter dado forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Por meio de seus estudos, Maxwell demonstrou que os campos elétricos e magnéticos se propagam com a velocidade da luz.

Conforme relatado por ROCHA (2011), Maxwell apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito eletromagnético, isto é, que a luz corresponde à propagação de ondas compostas por componentes de origem elétrica e magnética, hipótese que tinha sido posta por Faraday. Seu trabalho no campo do eletromagnetismo foi a base da relatividade restrita que estuda os movimentos de corpos que se movem em velocidades próximas a da luz.

**COMO DETERMINAR O CAMPO MAGNÉTICO EM UM FIO RETÍLNEO?  
EM UMA ESPIRA? OU EM UM SOLENOIDE?**

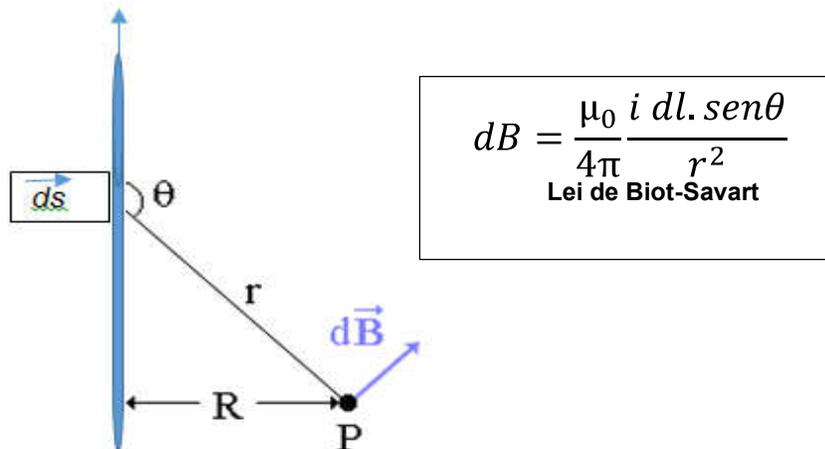
<sup>23</sup>Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/james-clerk-maxwell-1831--1879.html>>.

### 3.3 Campo magnético para diferentes geometrias

#### 3.3.1 Campo magnético gerado por um fio retilíneo

Depois da descoberta de Oersted, muitos cientistas investigaram os fenômenos eletromagnéticos que ocorriam com as cargas elétricas em movimento. O físico francês André-Marie Ampère (1775-1836), realizou muitos experimentos com limalhas de ferro e em fios retilíneos percorridos por correntes elétricas sendo que, através desses experimentos, Ampère e outros cientistas notaram que as linhas de campo são circunferências concêntricas contidas em planos perpendiculares a um fio retilíneo.

O campo magnético apresenta características que dependem dentre outras coisas, da corrente elétrica, do comprimento e da forma como o condutor é moldado. A partir da lei de Biot-Savart, descrita na equação 1, podemos obter valor do campo magnético em função da corrente elétrica que passa em um fio condutor com forma arbitrária, como indicado na figura 19.



**Figura 19:** Representação gráfica das variáveis aplicadas ao cálculo do campo magnético de um fio retilíneo

**Fonte:** Autoria própria (2017).

**Que tal fazermos um experimento para visualizarmos as linhas de campo por condutor retilíneo, por uma bobina e por um solenoide?**

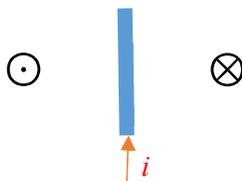
Analisando a Figura 19, podemos compreender com mais facilidade o significado de cada uma das variáveis atribuídas à lei de Biot-Savart aplicada ao caso do fio muito longo (infinito). Inicialmente, devemos entender que a lei de Biot-Savart serve para determinar o campo magnético gerado por um pequeno elemento do fio.

Para obtermos um valor mais preciso, devemos dividir o fio longo em partes pequenas. Quanto mais pequenas forem as partes, mais preciso será o resultado final. Nesse caso, podemos fazer uso de uma linguagem matemática mais elaborada: a notação integral e diferencial, que permite o cálculo analítico dessa soma dos elementos  $dB$ , resultando na equação que segue abaixo:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \quad [T] \quad 2$$

Para o caso do fio infinito, a equação 2 descreve o comportamento do módulo do campo magnético  $B$  que depende apenas da constante  $\mu_0$  que vale  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ , da corrente ( $i$ ) e da distância perpendicular ( $r$ ) entre um ponto e o fio, sendo que o seu valor decai linearmente à medida que se afasta do fio.

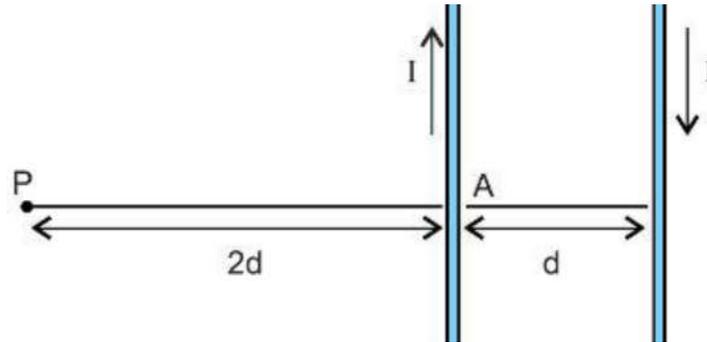
O sentido e direção do campo é dado pela regra da mão direita, ou seja, as linhas de campo são formadas por circunferências concêntricas ao fio, sendo no centro do fio o campo é zero, pois a corrente é zero e até a borda do fio o campo cresce linearmente no caso de uma distribuição homogênea de corrente elétrica. Para representação do campo magnético no papel, temos:



**Figura 20:** Ilustração apresentando o sentido do campo magnético à esquerda (saindo) e a direita (entrando) do fio  
**Fonte:** Autoria própria (2017).

**Vamos fazer um exercício exemplo!!!**

1 - A figura mostra dois fios longos e paralelos separados por uma distância  $d = 10,0\text{cm}$ , que transportam correntes de intensidade  $I = 6,0\text{A}$  em direções opostas. Considerando  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ , o módulo do campo magnético resultante no ponto P, situado a  $2d$  à esquerda do ponto A, em  $\mu\text{T}$ , é igual a



- a) 1,0                      b) 1,5                      c) 2,0                      d) 10,0                      e) 12,0

O campo magnético gerado pelo fio da direita ( $B_D$ ) no ponto P entra no plano da tela. O valor desse campo é determinado pela equação do campo magnético para o fio retilíneo.

$$B_D = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot 3 \cdot d}$$

$$B_D = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6}{2\pi \cdot 30 \cdot 10^{-2}}$$

$$B_D = \frac{12 \cdot 10^{-7}}{30 \cdot 10^{-2}}$$

$$B_D = 0,4 \cdot 10^{-5} = 4,0 \cdot 10^{-6} = 4\mu\text{T}$$

O campo magnético gerado pelo fio da esquerda ( $B_E$ ) no ponto P sai do plano da tela. O valor desse campo é determinado pela equação do campo magnético para o fio retilíneo.

$$B_E = B_D = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot 2 \cdot d}$$

$$B_E = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^{-2}}$$

$$B_E = \frac{12 \cdot 10^{-7}}{20 \cdot 10^{-2}}$$

$$B_E = 0,6 \cdot 10^{-5} = 6,0 \cdot 10^{-6} = 6 \mu\text{T}$$

O campo resultante ( $B_R$ ) é a subtração dos campos  $B_D$  e  $B_E$ . O campo resultante possui o mesmo sentido de  $B_E$ , pois esse é o maior campo no ponto P ( $B_E > B_D$ ).

$$B_R = B_E - B_D = 6 \mu\text{T} - 4 \mu\text{T} = 2 \mu\text{T}$$

2 - Um fio retilíneo conduz corrente elétrica de 2 A. Marque a alternativa correta a respeito dos valores e características dos campos magnéticos criados em pontos próximos ao fio.

- a) A uma distância de 5 cm do fio, o campo magnético possui intensidade de 6  $\mu\text{T}$ .

**Errada. Aplicando a equação do campo magnético gerado pelo fio retilíneo, a intensidade do campo magnético nas circunstâncias propostas seria de 8  $\mu\text{T}$ .**

- b) O campo magnético gerado por um fio possui a mesma direção e o mesmo sentido do deslocamento das cargas elétricas.

**Errada, pois o campo magnético é sempre tangente às linhas de campo.**

- c) As linhas de campo magnético geradas pelo fio possuem formato circular e o campo vale 8  $\mu\text{T}$  a uma distância de 15 cm do fio.

**Errada. O campo de 8  $\mu\text{T}$  será gerado a 5 cm do fio.**

- d) Todas as afirmações anteriores estão incorretas.

**Correta.**

3 - Leia as afirmações a respeito de campos magnéticos gerados por fios retilíneos.

I – O campo magnético gerado por um fio retilíneo é diretamente proporcional à corrente elétrica e inversamente proporcional ao quadrado da distância de um ponto qualquer ao fio;

**Errada.** O campo magnético gerado por um fio retilíneo é diretamente proporcional à corrente elétrica e inversamente proporcional à distância de um ponto qualquer perpendicular ao fio.

II – O campo magnético do fio retilíneo sempre é circular e no sentido horário;

**Errada.** As linhas de campo magnético produzidas por um fio retilíneo são sempre circulares, no entanto o campo magnético é um vetor tangente às linhas de campo, possuindo direções que dependem de cada ponto do espaço. Quanto à magnitude, seu valor cresce com o aumento da densidade de linhas de campo no espaço. Além do mais, o sentido da corrente elétrica define as linhas de campo magnético ocorrem no sentido horário ou anti-horário.

III – O campo magnético gerado por um fio retilíneo é diretamente proporcional à corrente elétrica e inversamente proporcional à distância de um ponto qualquer perpendicular ao fio;

**Correta.**

IV – O perfil de campo magnético do fio retilíneo possui geometria circular. O sentido da corrente elétrica define a orientação que poderá ser no sentido horário ou anti-horário.

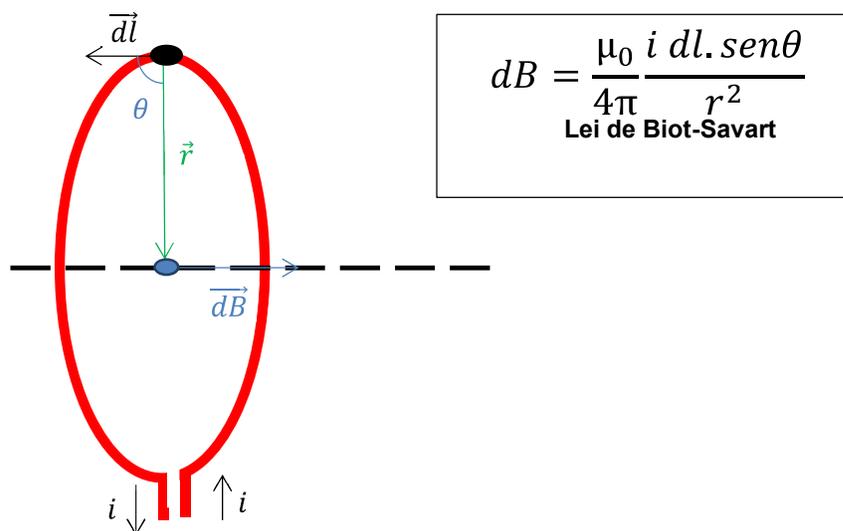
**Correta.**

Está correto o que se afirma em

- a) I e II            b) I e III            c) II e IV            d) I e IV            e) III e IV.

### 3.3.2 Campo magnético no centro de uma espira

Ao enrolarmos um fio retilíneo de forma a obter uma circunferência, temos uma espira de raio  $r$ . Ao aplicar uma corrente por essa espira, surge um campo magnético em todos os pontos de sua vizinhança. Sua intensidade pode ser calculada por meio da Lei de Biot-Savart (equação 1), que descreve o comportamento do elemento infinitesimal de campo magnético, gerado por um elemento infinitesimal de fio que compõe a espira. A Figura 21 abaixo mostra as grandezas físicas associadas à lei de Biot-Savart aplicada ao cálculo do campo gerado no centro da espira circular.



**Figura 21:** Ilustração das grandezas físicas aplicadas à lei de Biot Savar para o caso do campo no centro da espira circular  
**Fonte:** Autoria própria (2017).

Nesse caso, torna-se importante constatar que tanto o ângulo  $\theta = 90^\circ$ , quanto o valor de  $r$  são constantes, ou seja, não variam em função de  $dl$ . Sendo assim, podemos obter o valor de  $B$  somando todos os elementos  $dB$ , obtidos a partir de cada contribuição  $dl$  da espira circular, conforme mostrado na equação 7:

$$B = \sum dB = \frac{\mu_0 i \text{sen}90}{4\pi r^2} \sum dl \quad 3$$

Ao finalizar a soma de todos os elementos  $dl$ , teremos computado todo o caminho percorrido pela corrente elétrica, ou seja, toda a espira. Nesse caso, a equação que corresponde ao módulo do campo magnético no centro de uma espira corresponde a equação 5 descrita abaixo;

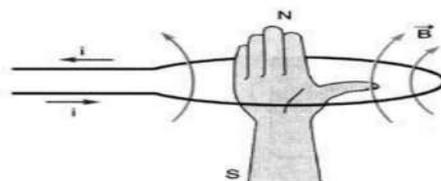
$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi r^2} 2\pi r$$

4

$$B = \frac{\mu_0 i}{2 r}$$

5

No centro da espira, a direção do campo magnético é perpendicular ao plano da espira, e o sentido é definido pela regra da mão direita, conforme ilustrado nas Figuras 22 e 23, onde o polegar indica a corrente  $i$ , e os outros dedos o sentido do campo magnético:



**Figura 22:** Regra da mão direita para um espira – polegar indica a corrente  $i$  e os outros dedos o sentido do campo magnético

**Fonte:** Cavalcante (2017)<sup>24</sup>.

Para representação do campo magnético de uma espira no papel, temos as mesmas regras que valem para um fio retilíneo, a simbologia  $\odot$  saindo e  $\otimes$  entrando, a Figura 22 ilustra bem essas situações:



**Figura 23:** Representação esquemática do campo magnético no interior da espira.

**Fonte:** Cavalcante (2017)<sup>25</sup>.

Se considerarmos várias voltas iguais em torno da mesma circunferência, teremos uma situação hipotética causada pela superposição de espiras com mesmo diâmetro (aproximação de bobina chata ou plana) e nessa situação o campo resultante no centro da composição seria equivalente à multiplicação do número de espiras,  $N$ , pelo campo gerada em cada uma delas, conforme descreve a equação 6.

$$B = N \frac{\mu_0 i}{2 r}$$

6

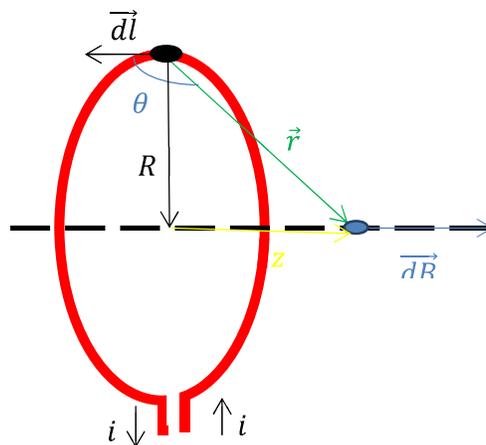
<sup>24</sup> Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-no-centro-uma-espira-circular.htm>>.

<sup>25</sup> Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-no-centro-uma-espira-circular.htm>>.

Outra situação possível de ser analisada analiticamente no caso de uma espira circular é determinação do campo magnético ao longo do eixo da espira. Nessa situação, os cálculos envolvidos na determinação do campo que partem da Lei de Biot-Savart não são facilmente realizáveis sem o auxílio de ferramentas tipicamente usadas no ensino superior. No entanto, a título de informação, abaixo segue a equação 7 que representa o campo ao longo do eixo da espira onde,

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{iR^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} \quad 7$$

$R$  é o raio da espira e  $z$  é a distância do centro da espira até o ponto que se queira determinar o campo sobre o eixo da espira, conforme mostrado na Figura 24.



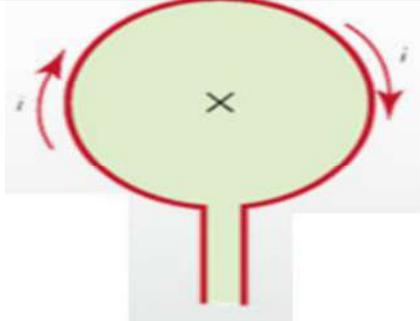
**Figura 24:** Ilustração das grandezas físicas aplicadas ao cálculo do campo magnético ao longo da espira circular

**Fonte:** Autoria própria (2017).

Analisando a Figura 24, podemos notar que o campo magnético está orientado ao longo do eixo da espira e possui sentido dado pela regra da mão direita.

**Vamos fazer exemplos para praticar!!!**

4 - Uma espira circular de 4 cm de diâmetro é percorrida por uma corrente de 8,0 A (veja figura). Seja  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ . O vetor campo magnético no centro da espira é perpendicular ao plano da Figura e orientado para:

<p>a) fora e de intensidade <math>8,0 \pi \times 10^{-5} \text{ T}</math>  <b>b) dentro e de intensidade <math>8,0 \pi \times 10^{-5} \text{ T}</math></b>  c) fora e de intensidade <math>4,0 \pi \times 10^{-5} \text{ T}</math>  d) dentro e de intensidade <math>4,0 \pi \times 10^{-5} \text{ T}</math></p>	
--	--

**Sendo I igual a 8 A; R igual a 0,02 metros (Nunca esqueça de transformar de centímetros para metros); e  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ .**

$$B = \frac{4\pi 10^{-7}(8)}{2(0.02)}$$

$$B = 800 \pi \times 10^{-7} \text{ ou } 8 \pi \times 10^{-5} \text{ T.}$$

**Usando a regra da mão direita percebemos que o campo é para dentro.**

**Letra: b.**

5 - Leia as afirmações a respeito do campo magnético gerado por uma espira circular.

I – O módulo do campo magnético gerado no centro de uma espira é diretamente proporcional ao seu raio;

**Falsa: O módulo do campo magnético nessa situação é inversamente proporcional ao raio.**

II – Se a corrente elétrica que flui por uma espira for dobrada, o campo magnético gerado por ela será duas vezes maior;

**Correto**

III – O sentido da corrente elétrica não interfere na direção e sentido do vetor campo magnético.

**Falsa. O sentido da corrente elétrica define a direção do campo magnético gerado pela espira, conforme a regra da mão direita.**

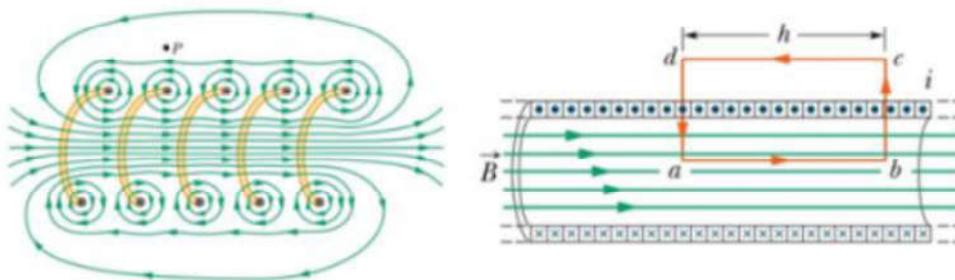
Está correto o que se afirma em:

- a) I e II
- b) II e III
- c) I e III
- d) Apenas III
- e) Apenas II**

### 3.3.3 Campo magnético gerado no centro de um solenoide

Um solenoide ou uma bobina é definido por um enrolamento de várias espiras circulares, uma do lado da outra, podendo conter também várias camadas. Quando um solenoide de  $N$  voltas e comprimento  $L$  é percorrido por corrente elétrica  $i$ , é produzido no seu interior, um campo magnético  $B$ , conforme descreve a equação 8.

$$B = \frac{N\mu_0 i}{L} \quad 8$$



**Figura 25:** Ilustração de um solenoide à esquerda. À direita, vista esquemática de um solenoide onde a corrente elétrica está saindo do plano de projeção na parte superior e entrando na parte inferior.

**Fonte:** Halliday, Resnick e Walker (2009).

Ao longo da distância de um solenoide existe  $N$  espiras do solenoide. Nesse caso, para se calcular o campo magnético, pode-se fazer uso das equações 9 e 10.

$$BL = \mu_0 Ni \quad 9$$

$$B = \mu_0 ni \quad 10$$

Analisando a equação acima que representa o campo magnético no interior de um solenoide longo, onde  $n$  representa o número total de espiras  $N$  dividido pelo comprimento  $L$  do solenoide.

### Vamos fazer um exercício exemplo!!!

**6** - Considere um longo solenoide ideal composto por 10.000 espiras por metro, percorrido por uma corrente contínua de 0,2 A. O módulo e as linhas de campo magnético no interior do solenoide ideal são, respectivamente:

- a) nulo, inexistentes.
- b)  $8\pi \cdot 10^{-4}$  T, circunferências concêntricas.
- c)  $4\pi \cdot 10^{-4}$  T, hélices cilíndricas.
- d)  $8\pi \cdot 10^{-3}$  T, radiais com origem no eixo do solenoide.
- e)  $8\pi \cdot 10^{-4}$  T, retas paralelas ao eixo do solenoide.

**Considerando que o solenoide tenha apenas 1 m, o número de espiras a ser considerado é de 10.000 ( $10^4$ ). Assim, o campo magnético para esse solenoide é igual a:**

$$B = \frac{N \cdot \mu_0 \cdot i}{L} = \frac{10^4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,2}{1}$$

$$B = 0,8\pi \cdot 10^{-3} \text{ ou } 8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

**As linhas de campo magnético são paralelas ao eixo do solenoide, saindo do lado referente ao polo norte (N) e entrando no lado referente ao polo sul (S).**

**7** - Marque a alternativa correta a respeito das características do campo magnético gerado por um solenoide.

- a) O campo magnético gerado por um solenoide é inversamente proporcional ao número de espiras.

**Errada. O campo magnético gerado por um solenoide é diretamente proporcional ao número de espiras.**

- b) O campo magnético gerado por um solenoide é inversamente proporcional ao comprimento do solenoide.

**Correta**

- c) As linhas de campo magnético de um solenoide são circulares.

**Errada. As linhas de campo magnético são paralelas ao eixo do solenoide, saindo do lado referente ao polo norte (N) e entrando no lado referente ao polo sul (S).**

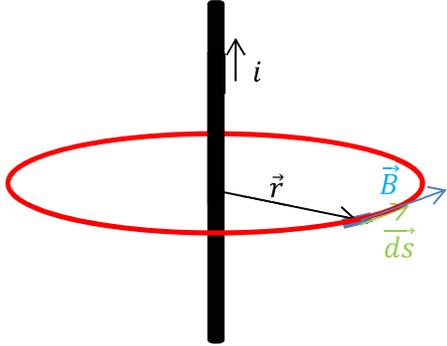
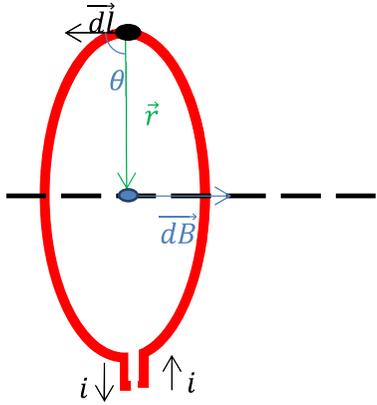
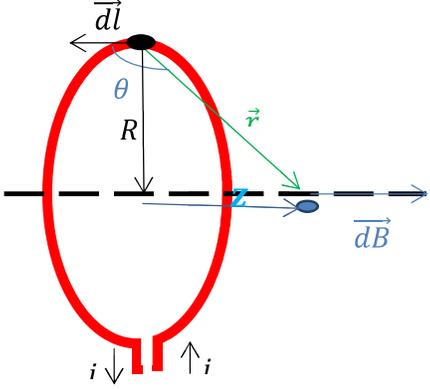
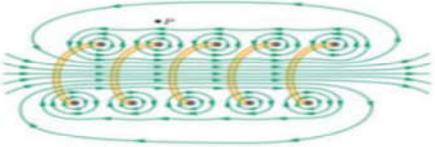
- d) As linhas de campo magnético de um solenoide são perpendiculares ao sentido da corrente.

**Errada**

- e) Todas as alternativas estão incorretas.

**Errada**

## 3.5 Resumo

<p>Campo magnético a uma distância <math>r</math> perpendicular ao centro de um fio condutor infinito ou muito longo</p>	$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r}$	
<p>Campo magnético gerado no centro de uma espira</p>	$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2r}$	
<p>Campo magnético no eixo de uma espira, a uma distância z do seu centro</p>	$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{iR^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$	
<p>Campo magnético no centro de um solenoide</p>	$B = \frac{N \cdot \mu_0 \cdot i}{L} \quad \text{ou}$ $B = \mu_0 n i$	



### 3.6 Atividade Experimental 4: linhas de campo 2.

#### MATERIAL UTILIZADO:

- 1 kit bobina com 300 voltas em média;
- 1 fonte de até 30 V ou bateria 9 V;
- Limalhas de ferro;

#### Procedimento:

Conecte a bobina na fonte ou na bateria, coloque uma folha no centro da espira. Polvilhe limalhas de ferro e observe o que ocorre.

Como você explica o fenômeno observado?

Nesse momento, iremos fazer um experimento e interessante com o qual poderemos estimar o valor do campo magnético!!!!  
Para a realização do mesmo será necessário que alguns alunos baixem em seus celulares *smartphones* um aplicativo de uso livre – Gauss Meter. Segue orientação de como baixar esse aplicativo



O processo para instalar esse aplicativo no celular ou no computador é gratuito. Primeiramente, você deve digitar no google: Baixar Gauss Meter. Em seguida, clique em um dos sites que dará a opção de fazer *download*. Na sequência, instalar e aguardar uns minutos. Seu aplicativo estará instalado, simples assim e pronto para brincar e se divertir com o Gauss Meter.

Obs.: Esse aplicativo não é gratuito para *lphone*.



### 3.7 Atividade Experimental:5 Campo de uma bobina

#### **MATERIAL UTILIZADO:**

1 kit bobina de 274 ou 325 ou 350 voltas;

1 fonte

1 multímetro

Celular smartphone com o aplicativo Gauss Meter

**Procedimento:** Conecte a bobina aos terminais da fonte e ao multímetro.

Em seguida, acerte a corrente na fonte em 0.25 A (de preferência não utilizar uma corrente maior para que não ocorra aquecimento da bobina). De posse do celular, acione o aplicativo Gauss Meter, escolha a opção com bússola.

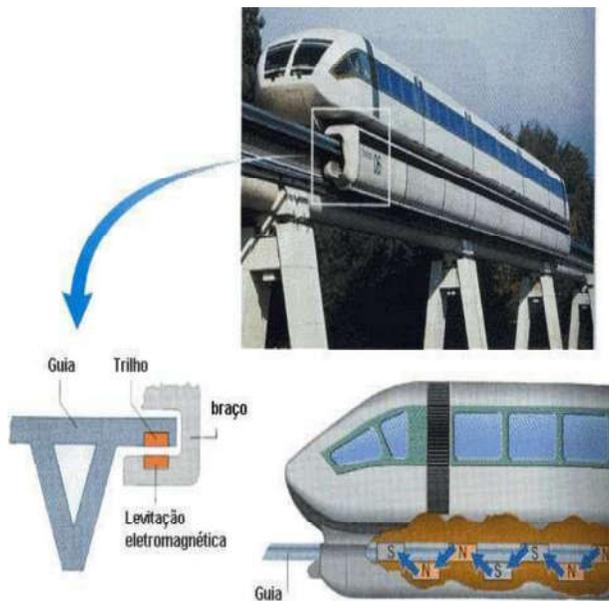
- 1- Tente descobrir onde fica o sensor do seu celular, que irá fazer a medida do campo magnético;
- 2- Aproxime vagarosamente o celular do eixo da bobina, anote os resultados adquiridos, juntamente com a distância;
- 3- Em seguida, a partir do eixo da bobina, circule toda a bobina e observe a orientação que a bússola passará a ter de acordo com as linhas de campo;
- 4- Divirta-se através do experimento.

**Você sabe o que é um eletroímã?  
Que tal montar????**

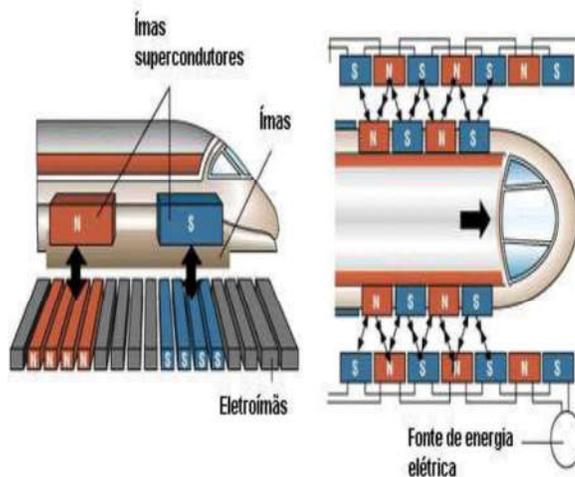
Você vai precisar de um prego grande, 1 metro de fio de cobre esmaltado fino, 1 pilha, alguns objetos metálicos (Clips, alfinetes, agulhinhas) e fita adesiva. Lixe as pontas do fio. Em seguida, enrole todo o fio ao redor do prego, encaixando as pontas descascadas, uma em cada polo da pilha. Aproxime o prego dos metais e observe o que ocorre. Com as descobertas de Oersted - relações entre magnetismo e eletricidade – muitos avanços tecnológicos ocorreram desde então. Entre tantos, podemos citar os eletroímãs, que nada mais é do que bobinas enroladas em um núcleo ferromagnético (geralmente Ferro), onde, durante a passagem de corrente elétrica, constitui-se em um ímã artificial, pois gera um campo magnético.

O eletroímã tem muitas aplicações, dentre elas podemos citar que o alto-falante, um dispositivo que produz som quando a corrente elétrica passa pelo eletroímã.

Outra aplicação de bobinas geradoras de altos campos magnéticos ocorre na medicina, nas estações de ressonância magnética, onde o paciente insere o corpo (ou a parte dele que será analisada) dentro de bobinas que podem gerar campos magnéticos superiores a dois teslas. Nesse caso, a imagem é formada pela análise dos dados obtidos das bobinas sensoras, que medem pequenas variações de campo magnético em diferentes pontos do espaço. Essas variações de campo são causadas pela composição do material que está sendo analisado, ou seja, pelo alinhamento e intensidade dos momentos magnéticos da parte do paciente que está sendo analisada. Em síntese, a imagem que é vista nos exames de ressonância magnética é uma medida de momentos magnéticos de diferentes estruturas do corpo que interagem de forma diferente com o campo magnético.



**Figura 26:** Trem magnético  
**Fonte:** Travtrilhos (2013) <sup>26</sup>.



**Figura 27:** Trem magnético  
**Fonte:** Geocities (2017) <sup>27</sup>.

### 3.8 CURIOSIDADE!!!

Você já ouviu falar do trem magnético? Trata-se de um trem que não possui rodas e sim eletroímãs localizados ao longo de toda a extensão do trilho que se magnetizam quando são percorridos por corrente elétrica, de modo que os elementos que estão a frente do veículo exercem uma força de atração e os que estão atrás repelem o trem, garantindo o movimento contínuo. Não há atrito entre os trilhos e o braço do trem, que flutua acima dos trilhos em um processo conhecido como levitação eletromagnética.

Esses veículos são construídos em duas partes. O corpo, onde viajam os passageiros, é montado sobre um trilho localizado na parte inferior do veículo que abriga os ímãs para a levitação e os ímãs-guias. A porção inferior do trem envolve a deslizadeira, e os sistemas que controlam os ímãs asseguram que o veículo permaneça próximo dela, mas sem a tocar. Rolos de fios enrolados sob a deslizadeira geram um campo magnético que se move ao longo da mesma. As forças de atração magnética entre este campo e os eletroímãs do veículo fazem levantar o trem e o arrastam por todo o campo magnético.

<sup>26</sup> Disponível em: <<http://www.tavtrilhos.com/2013/05/transrapid>>.

<sup>27</sup> Disponível em: <<http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/levitacao.html>>.

**Voce já ouviu falar no Simulador Magneto? Que tal usar em seu celular???**

**Basta acessar o *link*:**

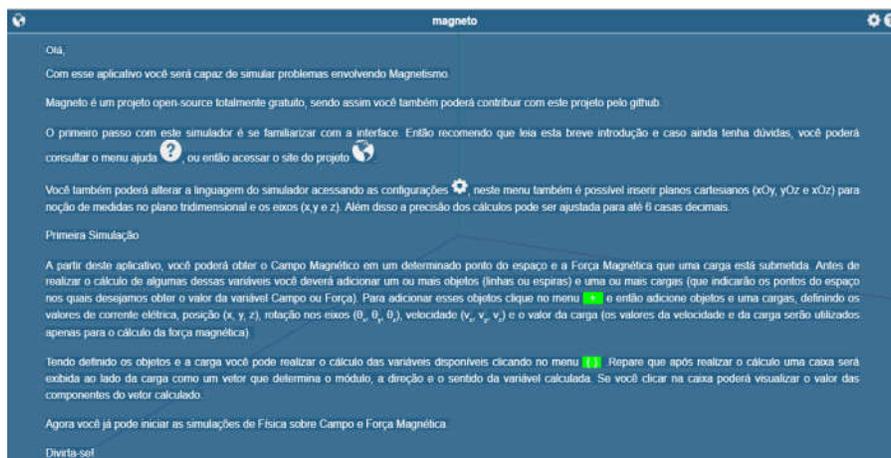
**<<https://lohmandouglas.github.io/magneto/#pt>>.**

### 3.9 Magneto

Em parceria com um cientista da computação, criamos um Simulador de campo magnético, o Magneto. Magneto é um simulador totalmente gratuito, que foi desenvolvido visando determinar o campo magnético em qualquer ponto do espaço, gerado por condutores de geometrias simples. Por meio do mesmo é possível obter o vetor de campo magnético e de força magnética, bem como verificar o valor das componentes do vetor, possibilitando que o usuário identifique a resposta numérica encontrada para o cenário observado.

Ele utiliza recursos computacionais, podendo ser utilizado tanto no computador quanto nos *smartphones*. Para utilizá-lo você deve acessar a página desse simulador através do *link*: <https://lohmandouglas.github.io/magneto/#pt>

. Ao acessar esse link, terá uma página inicial:



**Figura 28:** Ilustração da primeira página do Magneto

**Fonte:** GITHUB (2017)<sup>28</sup>.

No canto superior direito, tem-se uma roldana e um ponto de interrogação, a roldana serve para escolher o idioma desejado e também a opção de escolha, onde se é possível inserir planos cartesianos (xOy, yOz, xOz) para noção de

<sup>28</sup> Disponível em: <https://lohmandouglas.github.io/magneto/#pt>

medidas no plano tridimensional e os eixos (x,y e z). No ponto de interrogação, tem-se algumas orientações que é chamado de ajuda, são tais: Utilizar o mouse para movimentar-se na tela e selecionar objetos.

**+** para inserir objetos e cargas de prova.

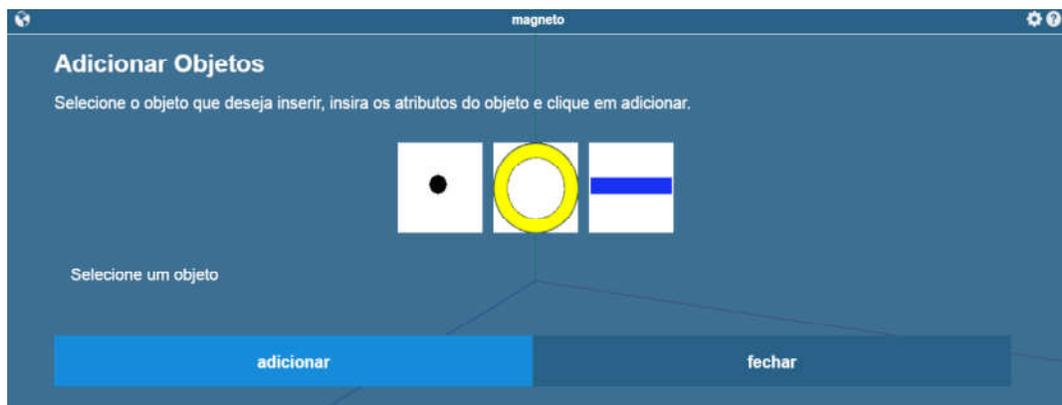
**{ }** para calcular as variáveis E(campo elétrico), F(força), V(potencial) e W(trabalho)

De posse dessas informações, você começa a divertir-se com o simulador. Clicando em fechar a primeira página, você tem uma nova página, onde poderá fazer a simulação, conforme mostra a Figura abaixo:



**Figura 29:** Ilustração do plano cartesiano do Magneto  
**Fonte:** GITHUB (2017).

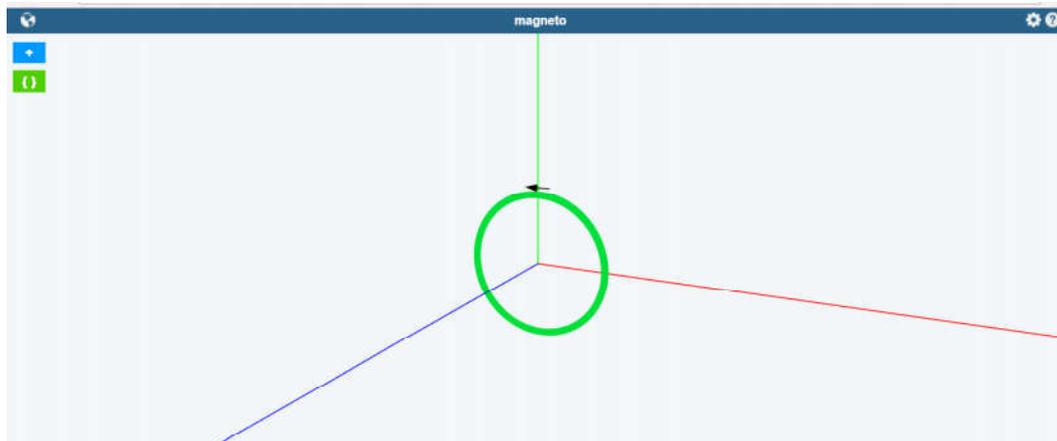
Clicando em +, tem-se a opção de adicionar o objeto que se deseja, conforme se pode ver na figura 17 - um ponto, uma espira ou um fio. Escolhendo o objeto, clique em adicionar e terá no plano cartesiano o objeto adicionado.



**Figura 30:** Ilustração da página onde se escolhe o objeto no Magneto  
**Fonte:** GITHUB (2017).

Sendo assim, pode-se adicionar o raio, a posição, a rotação e a corrente elétrica desejada para a forma geométrica escolhida.

Clica-se, então, em adicionar e terá uma nova interface, como se pode ver na figura abaixo:



**Figura 31:** Ilustração do Magneto  
**Fonte:** GITHUB (2017).

Caso clicar na chave, tem-se a opção de calcular campo magnético e/ou força magnética. O simulador utiliza a lei de Biot-Savart para determinar o campo e a força magnética de forma que nos possibilita obter valores, praticamente impossível de conseguirmos utilizarmos manualmente. Isso é possível pois o aplicativo divide o condutor em pequenas partes (mil partes usualmente) e calcula o campo de cada uma dessas partes, ao final realiza um somatório dessas pequenas partes possibilitando obter o campo com boa precisão.

De posse do Simulador, cada grupo de aluno poderá simular a mesma situação realizada experimentalmente (por exemplo, por meio de bobinas como no experimento 5) e, por último, utilizando a Lei de Biot-Savart, calcular o campo magnético para situação similar à do experimento realizado no laboratório, com a bobina (experimento 5).

Ao término dessas três atividades, o professor pode sugerir aos alunos que montem um gráfico usando o programa Excel. O gráfico deverá apresentar os dados adquiridos durante a realização das três atividades: medidas do campo usando o smartphone no Laboratório de Física, do Simulador Magneto e dos cálculos usando as equações descritas no texto.

### **3.10 Finalizando**

Para finalizar este tópico de conteúdo, propõe-se aplicar o mesmo questionário inicial aos alunos, com o intuito de avaliar a aprendizagem dos estudantes (questionário final), a ação docente e os produtos educacionais propostos, tendo em vista suas possíveis reorientações, modificações ou adequações para o processo de ensino-aprendizagem.



1 - Um fio retilíneo longo, colocado em um meio cuja permeabilidade magnética é  $\mu_0 = 6 \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  é percorrido por uma corrente elétrica. A distância de 50 centímetros do fio, o vetor campo de indução magnética apresenta um módulo de  $3 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ . Qual a intensidade da corrente elétrica que passa pelo fio?

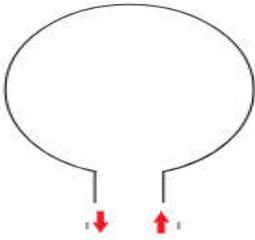
2 - O campo magnético de um fio longo e reto, alinhado na direção Norte-Sul, percorrido por uma corrente elétrica constante:

- altera a direção da agulha de uma bússola colocada em suas proximidades.
- Tem intensidade diretamente proporcional a distancia do fio.
- É induzido pela variação da corrente elétrica.
- É, em cada ponto de suas proximidades, paralelo ao fio.

3 - Dois fios retilíneos constituídos de material condutor de eletricidade são paralelos entre si. Eles estão no vácuo, são perpendiculares ao plano do desenho e são percorridos por correntes elétricas que entram no papel. Determine a intensidade do vetor campo magnético no ponto médio do segmento que une os fios. Dado:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$



4 - Uma espira circular de raio 4 cm está no plano do papel, conforme mostra a figura abaixo. A espira está no vácuo, onde a permeabilidade magnética é  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ . Quando a espira é percorrida por uma corrente elétrica de intensidade 6 A, o campo magnético no seu centro é mais bem representado pela alternativa:

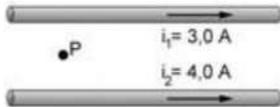


- a)  $3 \cdot 10^{-4}$  T, entrando no plano;  
 b)  $3\pi \cdot 10^{-5}$  T, saindo do plano;  
 c)  $3\pi \cdot 10^{-4}$  T, entrando no plano;  
 d)  $3 \cdot 10^{-5}$  T, saindo do plano

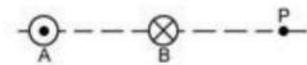
8 - É dado um solenoide retilíneo, de comprimento 100 cm, contendo espiras em número  $N = 20\ 000$  e percorrido por corrente de intensidade  $i = 5,0$  A. Sendo  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  unidades SI a permeabilidade magnética no vácuo, a intensidade do vetor campo magnético  $B$  na região central do solenoide, em unidades do SI, é de:

- a)  $4\pi \cdot 10^{11}$  T  
 b)  $4\pi \cdot 10^{-5}$  T  
 c)  $4\pi \cdot 10^{-2}$  T

9 - Dois fios longos são percorridos por correntes de intensidades 3,0 A e 4,0 A, nos sentidos indicados na figura. Determine a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo magnético no ponto P, que dista 2,0 cm de  $i_1$  e 4,0 cm de  $i_2$ .



10 - Dois fios retilíneos e paralelos, perpendiculares ao plano do papel, são percorridos por correntes de mesma intensidade e sentidos contrários, conforme indica a figura. No fio A a corrente tem o sentido de aproximação do leitor. O vetor campo magnético que melhor representa a indução magnética no ponto P sobre a perpendicular aos fios será:



- a)  $\uparrow$     b)  $\downarrow$     c)  $\leftarrow$     d)  $\rightarrow$     e)  $\nearrow$

11 - Uma espira circular é percorrida por uma corrente elétrica contínua, de intensidade constante. Quais são as características do vetor campo magnético no centro da espira? Ele:

- a) é constante e perpendicular ao plano da espira  
 b) é constante e paralelo ao plano da espira  
 c) é nulo no centro da espira  
 d) é variável e perpendicular ao plano da espira  
 e) é variável e paralelo ao plano da espira

12-(OSEC-SP) Uma espira circular de 4 cm de diâmetro é percorrida por uma corrente de 8,0 ampères (veja figura). Seja  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ . O vetor campo magnético no centro da espira é perpendicular ao plano da figura e orientado pra:



- a) fora e de intensidade  $8,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- b) dentro e de intensidade  $8,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- c) fora e de intensidade  $4,0 \times 10^{-5} \text{ T}$
- d) dentro e de intensidade  $4,0 \times 10^{-5} \text{ T}$

13 - Nos pontos internos de um longo solenoide percorrido por corrente elétrica contínua as linhas de força do campo magnético são:

- a) radiais com origem no eixo do solenoide.
- b) circunferências concêntricas.
- c) retas paralelas ao eixo do solenoide.
- d) hélices cilíndricas.
- e) não há linhas de força, pois o campo magnético é nulo no interior do solenoide.

14 - É dado um solenoide retilíneo, de comprimento 100 cm, contendo espiras em número  $N = 20000$ , percorrido por corrente de intensidade  $i = 5,0 \text{ A}$ . Sendo  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$  a permeabilidade magnética no vácuo, a intensidade do vetor campo magnético  $B$  na região central do solenoide, em  $\text{Wb/m}^2$ , é de:

- a)  $4 \times 10^{11}$ .
- b)  $1/(4) \times 10^{11}$ .
- c)  $\times 10^{-7}$ .
- d)  $4 \times 10^{-5}$ .
- e)  $4 \times 10^{-2}$ .

15 - O que é um eletroímã? Como funciona?

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entendemos que uma proposta didático-pedagógica não pode, por si só, garantir a melhoria da qualidade do processo de ensino-aprendizagem no âmbito da educação básica, uma vez que tal qualidade depende direta e/ou indiretamente de diversos micro e macro fatores. Entretanto, nosso produto educacional foi proposto na expectativa de poder ajudar e servir como material de apoio aos professores de Física do Ensino Médio no momento de preparação de suas aulas, bem como de levar aos alunos um material paradidático que inclui atividades diferenciadas e alternativas, sem perder de vista a necessária cientificidade.

Este produto educacional foi desenvolvido com duas turmas do terceiro ano de Ensino Médio no quarto bimestre letivo do ano de 2017. Com base nesta intervenção realizada, podemos afirmar que este material, baseado em um método dialético de ensino e composto por diferentes atividades teórico-práticas que utilizam recursos alternativos e diferenciados, contribuiu em grande medida para a aprendizagem desses estudantes e também para sua motivação, participação e discussão nas aulas de Física.

Esperamos contribuir tanto para uma melhor aprendizagem dos estudantes do Ensino Médio sobre o conteúdo de campo magnético, quanto para a prática docente de professores de Física desse nível de ensino, tendo em vista oferecer ao professor uma estratégia didática diferenciada, crítica, coerente e sistematizada, a qual possa contribuir para o bom desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem.

## REFERÊNCIAS

BASSALO, J.M. F. A crônica da física do estado sólido:IV. Magnetismo. **Revista Brasileira de Ensino de Física.**, vol.16, nºs (1-4) 1994. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol16a09.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. de 2017.

CAVALCANTE, K. **Campo Magnético no Centro de uma Espira Circular.** Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-no-centro-uma-espira-circular.htm>>. Acesso em: 15 de set. de 2017.

CHAIB, J. P. M. de C.; ASSIS, A. K. Torres. **Experiência de Oersted em sala de aula.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 41-51, 2007.

CORDEIRO, L. F.. **Física 3º série**, 4º volume. Curitiba: Positivo, 2011.

DIAS, V. **Magneto freezer poderá ajudar na conservação da carne.** Disponível em:<<http://www.usp.br/agen/?p=42607>> Acessado em: 18 de outubro de 2017.

E.P.I.C. **William Gilbert – Electricity, Technology.** Disponível em: <<http://www.epic-school.com/calendar/>>. Acesso em: 22 de out. de 2017.

GITHUB. Magneto - Magnetic Field Simulator. Disponível em <<https://github.com/LohmannDouglas/magneto> >. Acesso em: 15 de set. de 2017.

HALLIDAY, D; RESNICK, R.; WALKER, J.. **Fundamentos de Física:** gravitação, ondas e termodinâmica. Trad.: Ronaldo Sérgio de Biase. Vol. 3. 8ª ed. Editora LTC, 2009. .

HEssel, R.; FRESCHI, Agnaldo A.; SANTOS, Francisco J. dos. Lei de indução de Faraday: Uma verificação experimental. **Rev. Bras. Ensino Fís.** [online]. vol.37, n.1,2015.

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS. **Magnus.** 02 de jan. de 2013. Disponível em: <<http://instalacoesletricasii.blogspot.com.br/2013/01/magnus.html>>. Acesso em 20 de set. de 2017.

JÚNIOR, J S da S. **Hans Christian Oersted.** Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/hans-christian-oersted.htm>>. Acesso em: 09 de fev. de 2018.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**, 3 Volume, Ensino Médio, Editora Ática, 1ª Edição, São Paulo, 2011.

GEOCITIES. **Levitação Magnética.** Disponível em: <http://www.geocities.ws/saladefisica7/funciona/levitacao.html>>. Acesso em 20 de set. de 2017.

GRAÇA, C. **Materiais Magnéticos**. Física Geral e Experimental III. Capítulo 9. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/cograca/graca9\\_1.pdf](http://coral.ufsm.br/cograca/graca9_1.pdf) modificado>. Acesso em: 22 de out. de 2017.

MAGGRAFT. **Hans Christian Oersted**. Disponível em: <<https://www.magcraft.com/hans-christian-oersted>>. Acesso em: 15 de set. de 2017.

ISOLA, V.. **A História do Eletromagnetismo**. UNICAMP, 2003. Disponível em: <[1.http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem1\\_2003/992558ViniciusIsolaRMartins\\_F809\\_RF09\\_0.pdf](1.http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2003/992558ViniciusIsolaRMartins_F809_RF09_0.pdf)>. Acesso em: 01 ago. 2017.

MAXIMO, A.; ALVARENGA, B., **Física: Volume único**. Scipione, 2014.

MIRANDA, J. **James Clerck Maxwell**. Disponível em: <<http://www.grupoescolar.com/pesquisa/james-clerk-maxwell-1831--1879.html>> Acesso em: 03 de nov. de 2017.

RAMALHO, N. T. **Os fundamentos da Física 3**, 6ª edição, Editora Moderna, 1999.

RIBEIRO, G. A. P. **As propriedades magnéticas da matéria: um primeiro contato**. Departamento de Física - UFS: São Carlos-SP, p. 299-300, 2000. Disponível em: <[http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22\\_299.pdf](http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_299.pdf)>. Acesso em 1 de out. de 2017.

ROCHA, J. F. M. (org.) **Evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011.

SANTOS, J. C. **F.Ímas e magnetismo**. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/imas-e-magnetismo.html>> Acesso em: 20 de ago. de 2017.

SILVA, C. X. da.; B. F., B. **Física Aula por Aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna**. Vol. 3. São Paulo: FTD, 2012.

TRAVTRILHOS. **Revista Eletrônica Trem de Alta Velocidade**. 2013. Disponível em: <<http://www.tavtrilhos.com/2013/05/transrapid>>. Acesso em: 21 de agos. de 2017.

YOUTUBE. **O campo magnético da terra**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9SylGsBBdVE>>. Acesso em: 22 de out. de 2017.

\_\_\_\_\_. **O Núcleo - Missão ao Centro da Terra**. 2003. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=mRuTXeR11lg>>. Acesso em: 1 de out. de 2017.

WILLIAMS, Pearce L. **Michael Faraday**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>>. Acesso em: 22 de out. de 2017.